平成 30 年度

長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業
「長周期地震動ハザードマップ作成のための基礎調査・モデル作成等」

成果報告書

平成 31 年 3 月

文部科学省研究開発局

国立研究開発法人防災科学技術研究所

本報告書は、文部科学省の科学技術基礎調査等委託事業による委託業務として、国立研究開発法人防災科学技術研究所が実施した平成 30 年度長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業「長周期地震動ハザードマップ作成のための基礎調査・モデル作成等」の成果を取りまとめたものです。

目　次

１．事業の概要 ……1
1.1.　長周期地震動ハザードマップについて ……1
1.2.　事業の目的……2
1.3.　事業の内容……2

２．事業の実施体制……4

３．事業の成果 ……5
3.1.　南海トラフ地震の多様な震源モデルの調査・作成 ……5
3.2.　長周期地震動ハザード評価に用いる深部地下構造モデルの調査・検討 ……36
3.3.　南海トラフ巨大地震による長周期地震動計算……86
3.4.　東海地域における長周期地震動ハザードマップの作成 ……99

４．むすび ……116

１．長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業の概要

1.1.　長周期地震動ハザードマップについて

長周期地震動については、平成 15 年（2003 年）十勝沖地震の際に震央から遠く離れた苫小牧で発生した石油タンク火災の原因の一つとして注目されるなど、近年その危険性が認知され始めた。長周期地震動は、首都圏、中京圏、近畿圏など超高層ビルや長大構造物が集中する平野部で特に顕著に現れる。地震調査研究推進本部では、想定東海地震、昭和型東南海地震、及び 1978 年タイプの宮城県沖地震を対象とした「長周期地震動予測地図」2009 年試作版を 2009 年 9 月に、昭和型南海地震を対象とした「長周期地震動予測地図」2012 年試作版を 2012 年 1 月にそれぞれ作成し、公表している。これらの地域はいずれも近い将来に発生が懸念される南海トラフ沿いの海溝型巨大地震によって長周期地震動に見舞われる可能性が示されている。

一方、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、これまで知られていたよりも大きな規模の地震まで考慮する必要が生じた。特に、巨大地震発生の切迫性が指摘されている南海トラフの地震や人口が集中する首都圏に大きな影響を及ぼす相模トラフの地震については、過去の地震に基づく少数かつ特定の「シナリオ」を対象とした従来の長周期地震動予測地図にとどまらず、過去に例のない巨大地震により生じる長周期地震動をも考慮した長周期地震動ハザード評価が必要である。今後、これまでの試作版作成等や東北地方太平洋沖地震から得られた知見等を踏まえたさらなる予測手法の高度化だけでなく、広く社会の防災・減災に資する長周期地震動ハザードマップをはじめとした長周期地震動ハザード評価結果の提示が必要であり、そのための研究・検討が早急に必要である。

一方、平成 26 年度までに実施されてきた、「長周期地震動予測地図作成等支援事業」および「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」では、主として周期 3 秒程度以上の長周期地震動を対象として検討を進めてきた。しかしながら、このような周期帯の地震動により大きな影響を受ける建築等の構造物は高さ 100m（30 階建て）程度以上の超高層建物に限定され、ビル等で多数を占める中高層建物に対する防災・減災に資するためには周期 1 秒程度まで拡張した長周期地震動ハザード評価を行う必要がある。平成 26 年度の「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」において、震源モデルとして破壊伝播の不均質性を考慮することにより、シミュレーションによる周期 1～3 秒程度の地震動が従来の「特性化震源モデル」による結果と比べて大きくなることが確認された。さらに、2003 年十勝沖地震を対象とした検討により、マグニチュード 8 クラスの地震に対して検証がなされたこと、関東地域を対象とした詳細な地下構造モデルが構築されつつある。これらの成果を踏まえて、相模トラフ沿いで発生する巨大地震を対象とした長周期地震動評価が地震調査委員会より 2016 年 10 月公表された。しかしながら、対象周期の短周期側への拡張に関して、地下構造モデルの影響が十分確認されていないこと、南海トラフ地震を対象とした長周期地震動評価のための地下構造モデルの整備やマグニチュード 9 クラスの超巨大地震の震源モデル化手法の検証などが課題として残されている。

1.2. 事業の目的

地震調査研究推進本部（以下では、地震本部と記す）が将来公表する「南海トラフ巨大地震を対象とした東海地域における長周期地震動ハザードマップ（仮題)」の作成のための基礎調査・モデル作成等を行うことを目的とする。

1.3. 事業の内容

これまでの「長周期地震動予測地図作成等支援事業」および「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」等で蓄積されてきた知見等を踏まえつつ、長周期地震動ハザード評価に関する以下の検討を実施する。

（1） 南海トラフ地震の多様な震源モデルの調査・作成

南海トラフ巨大地震を対象とした長周期地震動ハザードマップ作成のため、特性化震源モデルに破壊過程の不均質性を導入した多種多様なマグニチュード８級の巨大地震の震源モデルを作成する。また、マグニチュード９級の地震に対して、同じ手法により破壊過程の不均質性を導入した震源モデルを試作する。

具体的には、平成２９年度に検討を踏まえ、地震本部による「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について」において震源域の例として示されているマグニチュード８級の地震に、様々なアスペリティーおよび破壊開始点位置を考慮した多数の震源モデルに対して、Iwaki et al. (2016) の方法（パラメータ）により破壊伝播速度、すべり量、すべり角の不均質性を付与した震源モデルを作成する。必要に応じて例示されていない震源域も考慮する。また、マグニチュード９級の地震として、平成23年東北地方太平洋沖地震を対象として、地震本部の「レシピ」に従って設定した特性化震源モデルに対して上記のマグニチュード８級の地震と同様の手法により破壊不均質性を付与した震源モデルを試作する。破壊不均質性を付与しない震源モデルによる長周期地震動シミュレーション結果および観測記録との比較を行い、マグニチュード９級の地震に対する破壊不均質性付与の効果を確認する。

（2） 長周期地震動ハザード評価に用いる深部地下構造モデルの調査・検討

自治体等で作成された地下構造モデルや地下構造モデルの作成に用いることができるボーリングデータ、物理探査データ等を収集する。それらを全国１次地下構造モデル（暫定版）に取り込む方法を検討し、自然地震記録を用いた検証により既往の全国モデルとの違いを明らかにする。

具体的には、最近５年程度以内に実施された自治体の地震被害想定で作成された地下構造モデルについて、作成手法や用いられたデータ（ボーリングデータや物理探査データを含む）等の情報を収集し整理する。主対象は南海トラフ地震の影響を受ける地域とする。関東地域および東海地域については、防災科学技術研究所が実施している総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）⑤「レジリエントな防災・減災機能の強化」と連携したデータの収集を行う。また、収集した地下構造モデルおよびデータのうち、利用可能なものについて、平成29年度事業で作成された「全国1次地下構造モデル（暫定版)」を部分改良した地下構造モデルへの取り込み

を試行する。このとき、防災科学技術研究所の地震ハザード情報ステーション（J-SHIS）や内閣府（2015）のモデルも参照し、可能であれば、これまでの「活断層の重点的調査観測研究」における強震動計算のために作成された地下構造モデルについても取り込む。さらに、取り込みを試行し作成した地下構造モデルを用いて、2004年紀伊半島沖の地震の前震、2009年駿河湾の地震、2011年駿河湾の地震、2013年淡路島付近の地震、2016年三重県南東沖地震に対して、東海地域から四国までのF-net, K-NET, KiK-net観測点を対象として地震波形計算を行い、既往モデル（サブテーマ（３）で用いる地下構造モデル）によるものと最大速度振幅やスペクトルの再現性を比較する。

（３） 南海トラフ巨大地震による長周期地震動計算

サブテーマ(１)で作成した震源モデルと部分改良された全国 1 次地下構造モデル(暫定版）を用いて、可能な限り広い周波数帯域を対象とした長周期地震動シミュレーション計算を行う。また、浅部地盤モデルによる増幅を考慮した計算結果を提示する。

具体的には、サブテーマ（１）で作成した震源モデルと部分改良された全国1次地下構造モデル（暫定版）により、周期2～20秒を対象とした長周期地震動計算を行う。計算範囲は、南海トラフ震源域～関東地方（島嶼部を除く）とする。また、浅部地盤による増幅に関して、関東地方および東海地域については、防災科学技術研究所が実施している総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）⑤「レジリエントな防災・減災機能の強化」と連携し、浅部地盤モデルに基づいた上記の計算対象周期における増幅率を利用する。

（４） 東海地域における長周期地震動ハザードの作成

長周期地震動ハザード評価の結果等について、社会の防災・減災、住民の理解を促すための見せ方や公開方法について提案する。濃尾平野における南海トラフ巨大地震の長周期地震動ハザードマップを作成し、利活用促進のための公開システムを検討する。

具体的には、長周期地震動ハザード評価結果の利活用を促す情報提供の方法やあり方に関して、建築・土木・社会防災を専門とする有識者から意見を集約する。成果の利用対象者（一般市民、行政庁防災担当者、土木・構造設計者）それぞれに適する情報提供方法を検討する。検討結果および集約した意見を踏まえ、長周期地震動ハザード情報を社会の防災・減災、活用し、住民の理解を促すための見せ方や公開方法について提案を行うとともに、サブテーマ（３）および平成 29 年度事業の計算結果を用いて長周期地震動ハザードマップを作成する。これまでの「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」で試作・改良してきた地震ハザードステーション（J-SHIS）を参考にした情報提供システム上で公開できるよう、平成 29 年度の計算結果や計算のもととなるデータも含めて登録する。

２．事業の実施体制

所属機関	役職	氏名	担当課題
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	部門長	藤原　広行	3.1～3.4
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	主任研究員	森川　信之	3.1～3.4
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	主任研究員	前田　宜浩	3.1～3.4
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	契約研究員	岩城　麻子	3.1～3.4
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	主幹研究員	先名　重樹	3.2, 3.3
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	主任研究員	河合　伸一	3.4
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	契約研究員	東　宏樹	3.4

３．事業の成果

3.1.　南海トラフ地震の多様な震源モデルの調査・作成

(1) 事業の内容

(a) 事業の題目

南海トラフ地震の多様な震源モデルの調査・作成

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	部門長	藤原　広行
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	主任研究員	森川　信之
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	主任研究員	前田　宜浩
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	契約研究員	岩城　麻子

(c) 事業の目的

南海トラフ巨大地震を対象とした長周期地震動ハザードマップ作成のため、特性化震源モデルに破壊過程の不均質性を導入した多種多様なマグニチュード８級の巨大地震の震源モデルを作成する。また、マグニチュード９級の地震に対して、同じ手法により破壊過程の不均質性を導入した震源モデルを試作する。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

平成２９年度の検討を踏まえ、地震調査研究推進本部地震調査委員会（以下、地震本部と記す）による「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について」において震源域の例として示されているマグニチュード８級の地震に、様々なアスペリティおよび破壊開始点位置を考慮した多数の震源モデル（計 126）に対して、Iwaki et al. (2016) の方法（パラメータ）により破壊伝播速度、すべり量、すべり角の不均質性を付与した震源モデルを作成した。また、マグニチュード９級の地震として、平成 23 年東北地方太平洋沖地震を対象として、地震本部による『震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）』（以下、「レシピ」と記す）に従って設定した特性化震源モデルに対して上記のマグニチュード８級の地震と同様の手法により破壊不均質性を付与した震源モデルを試作した。破壊不均質性を付与しない震源モデルによる長周期地震動シミュレーション結果および観測記録との比較を行い、マグニチュード９級の地震に対する破壊不均質性付与の効果を確認した。

(b) 事業の成果

1) 南海トラフ地震の震源モデル作成

「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」（地震調査委員会、2013）では、図 3.1-1 に示される領域区分に基づいた図 3.1-2 の 15 通りの発生様式および震源域が示されている。このうち、平成 29 年度の「長周期地震動ハザードマップ作成のための基礎調査・モデル作

成等」において「東海」と「南海」においてマグニチュード 8 級の地震が別々に発生する 4 通り、および「東海」と「南海」が同時に活動する浅部のみを震源とする計 5 通りの震源域について検討がなされている。そこで本検討では、「東海」と「南海」が同時に活動する地震のうち、図 3.1-2 における Z から E 全体が震源域となる地震と平成 29 年度に検討された地震を除く計 6 通りの震源域で発生する地震を対象とした。このうち、AF110 および TO110 はマグニチュード 9 クラスとなる（表 3.1-1）。これらの震源域に関して、平成 25 年度長周期地震動予測地図作成等支援事業（文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所、2014）において図 3.1-3 に示されるアスペリティ（強震動生成域）および破壊開始点位置の不確実さを考慮した検討が行われている。その中では、平均応力降下量を 3MPa、アスペリティ面積を約 20%と仮定した上で「レシピ」に従って震源パラメータが設定されている（表 3.1-1）ものの、破壊過程の不均質性が付与されていなかった。そこで、これらの震源モデルに対して相模トラフ巨大地震を対象とした長周期地震動評価 2016 年試作版（地震調査委員会、2016）で採用されている、Iwaki et al. (2016) の検討に基づく破壊伝播速度等の不均質性（表 3.1-2）の付与を行った。さらに、長周期地震動評価 2016 年試作版の考え方に基づいて、破壊開始点位置を図 3.1-1 で区分されている領域内の中央付近とするケースを追加した。結果として、表 3.1-3 に示す 126 ケースの震源モデルを作成した。不均質性の付与にあたっては一様分布に従う乱数を用いた。このとき、各ケースで用いる乱数を代えている。

それぞれの震源モデルについて、防災科学技術研究所から公開されている地震動シミュレータ GMS（青井・他、2004）で使用することができる形式のファイルを作成した。

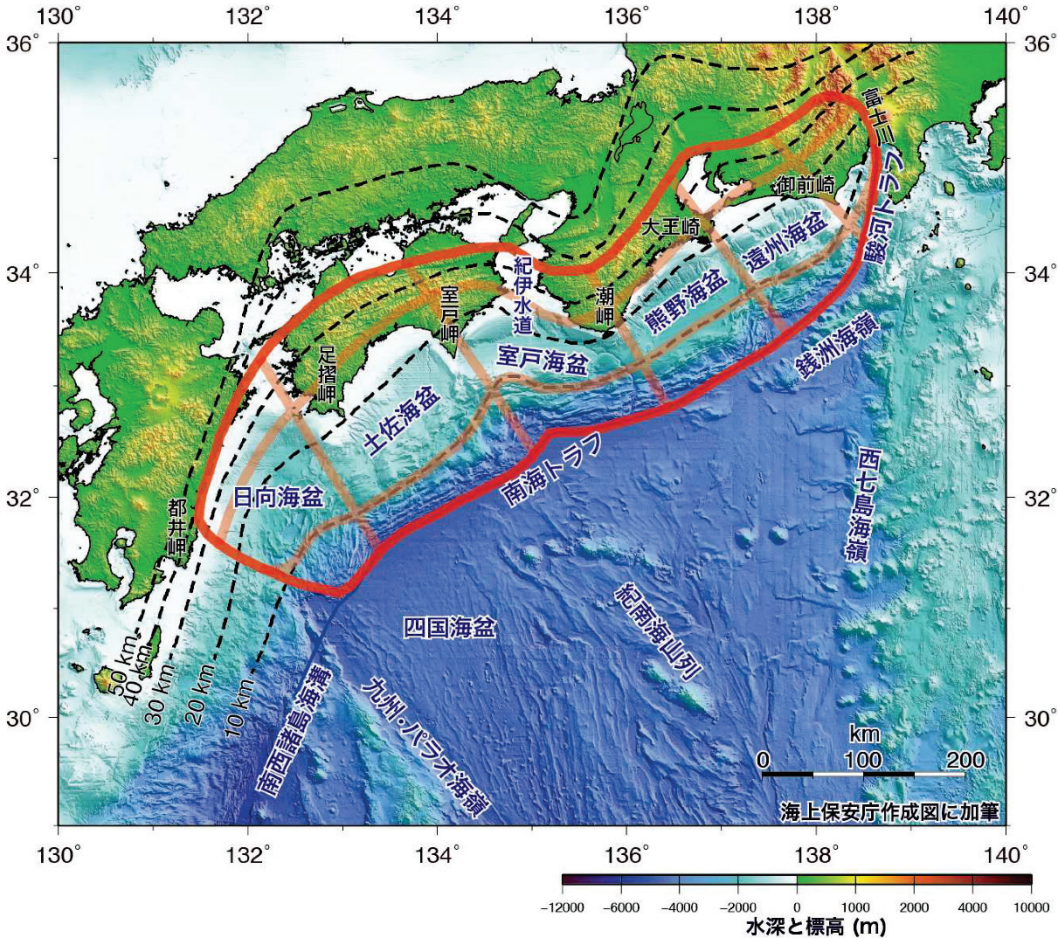


図 3.1-1　長期評価における南海トラフの地震の評価対象（地震調査委員会，2013 より）。

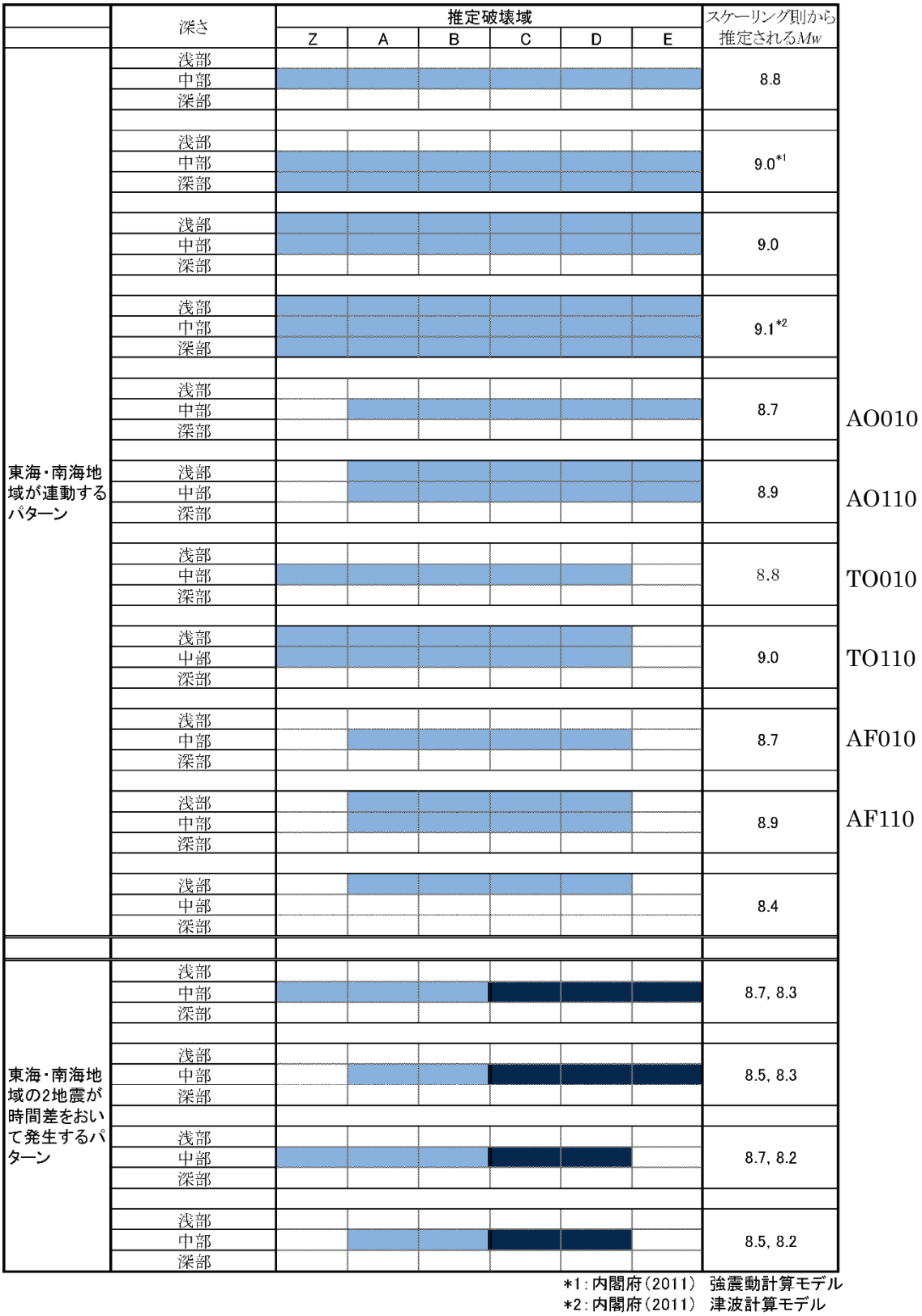


図 3.1-2　長期評価において例示されている南海トラフの地震の発生様式。右枠外に震源域記号を付したのが本検討で対象とした震源域（地震調査委員会、2013 に加筆）。

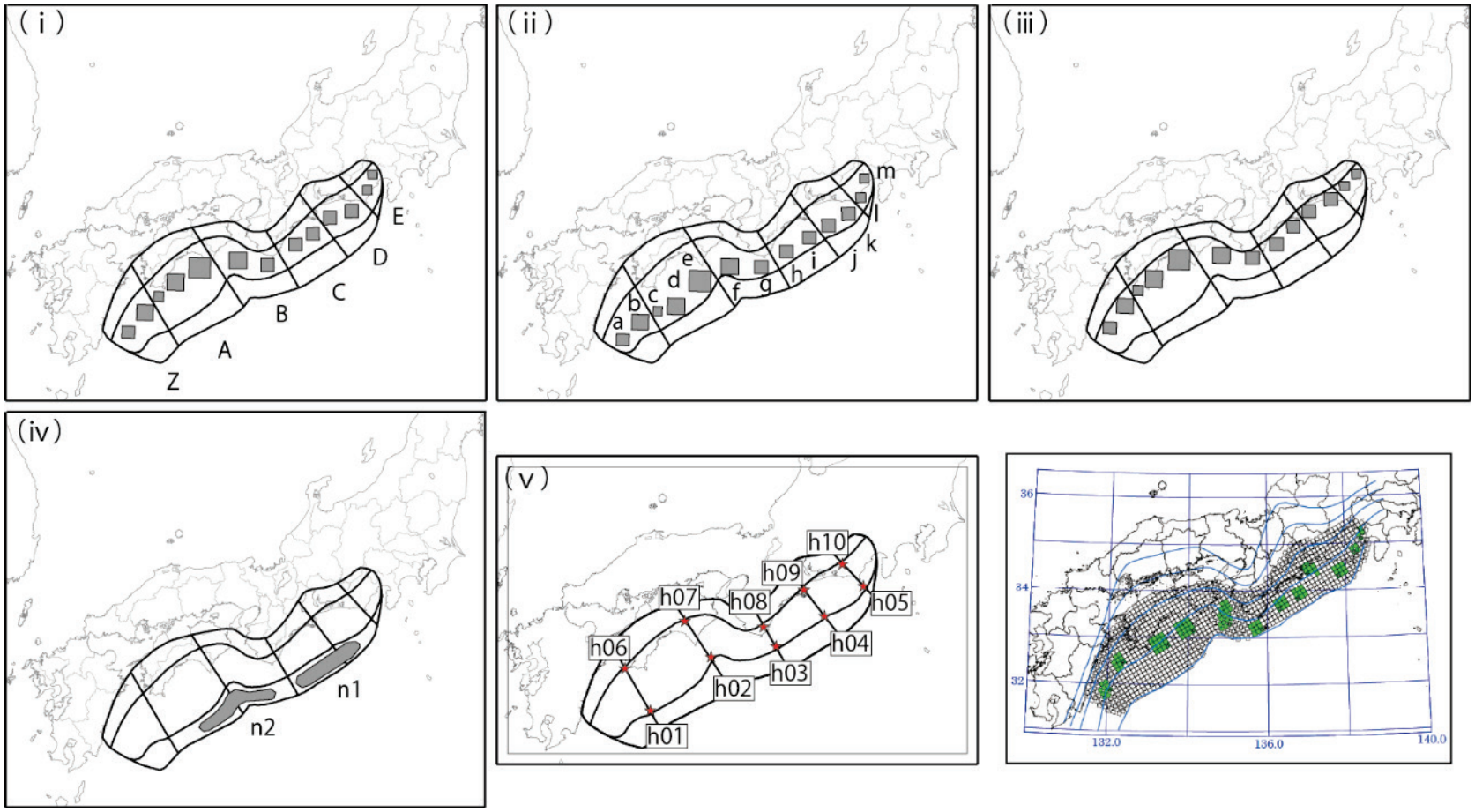


図 3.1-3　本検討で設定したアスペリティ（強震動生成域；ⅰ～ⅳ）および破壊開始点位置（ⅴ）（文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所，2014 に基づく）。

表 3.1-1　本検討で対象とした地震の震源パラメータ（文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所，2014 に基づく）。

ケース名		AF010	AF110	AO010	AO110	TO010	TO110
地震モーメント[×10^{22}Nm]		1.9	3.4	1.7	3.1	2.2	4.0
モーメントマグニチュード		8.8	9.0	8.8	8.9	8.8	9.0
平均応力降下量 [MPa]		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
平均すべり量 [m]		7.6	9.2	7.3	8.9	8.0	9.7
アスペリティ実効応力 [MPa]		15.0	15.1	15.0	15.0	15.0	15.7
A	面積 [km^2]	—	—	—	—	900	900
	すべり量 [m]	—	—	—	—	14.1	13.2
b	面積 [km^2]	—	—	—	—	1,430	1,430
	すべり量 [m]	—	—	—	—	17.7	16.6
c	面積 [km^2]	540	540	540	540	540	540
	すべり量 [m]	10.6	9.6	9.8	9.0	10.9	10.2
d	面積 [km^2]	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650
	すべり量 [m]	18.5	16.9	17.1	15.8	19.0	17.9
e	面積 [km^2]	2,540	2,540	2,540	2,540	2,540	2,540
	すべり量 [m]	23.0	20.9	21.2	19.6	23.6	22.1
f	面積 [km^2]	1,670	1,670	1,670	1,670	1,670	1,670
	すべり量 [m]	18.6	17.0	17.2	15.9	19.1	15.2
g	面積 [km^2]	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050
	すべり量 [m]	14.8	13.4	13.6	12.6	18.0	14.2
h	面積 [km^2]	970	970	970	970	970	970
	すべり量 [m]	14.2	12.9	13.1	12.1	13.7	13.1
i	面積 [km^2]	960	960	960	960	960	960
	すべり量 [m]	14.1	12.9	13.0	12.0	13.6	13.0
j	面積 [km^2]	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
	すべり量 [m]	14.6	13.3	13.5	12.5	14.1	13.5
k	面積 [km^2]	1,040	1,040	1,040	1,040	1,040	1,040
	すべり量 [m]	14.7	13.4	13.6	12.5	14.2	13.6
l	面積 [km^2]	550	550	—	—	—	—
	すべり量 [m]	10.7	9.7	—	—	—	—
m	面積 [km^2]	540	540	—	—	—	—
	すべり量 [m]	10.6	9.6	—	—	—	—
n	面積 [km^2]	—	5,710	—	5,710	—	5,710
	すべり量 [m]	—	31.4	—	29.3	—	33.2
背景	面積 [km^2]	50,170	73,640	45,820	68,640	55,140	82,490
	すべり量 [m]	5.3	6.5	5.1	6.2	5.6	7.0
	実効応力 [MPa]	1.0	1.1	1.1	1.2	1.0	1.1

※ケース名と震源域との対応は表 3.1-3 を、a～n は図 3.1-3（ⅱ，ⅳ）を参照

表 3.1-2　震源モデル付与した破壊過程の不均質性（地震調査委員会，2016 に基づく）。

パラメータ	考慮するゆらぎ（不均質性）の範囲
すべり量の不均質性	±0.5Dave（Dave は平均すべり量）
破壊伝播速度の不均質性	±400m/s
すべり角の不均質性	±45 度

表 3.1-3　本検討で作成した南海トラフの地震の 126 震源モデル。

ケース名	震源域 図 3.1-3 参照	破壊開始点位置	アスペリティ （強震動生成域）	ケース数
SO010	A～E 中部	10	3	30
SF010	A～E 浅・中部	10	6	60
AS010	A～D 中部	3	2	6
AO100	A～D 浅・中部	3	4	12
TO100	Z～D 中部	3	2	6
TO110	Z～D 浅・中部	3	4	12

2) 平成 23 年東北地方太平洋沖地震を対象とした検討

南海地震の震源モデル作成方法検討のため、M9 級の海溝型巨大地震である平成 23 年東北地方太平洋沖地震を対象として、地震本部の「レシピ」に基づいた特性化震源モデルを設定し、それに対して M8 級の平成 15 年十勝沖地震を対象とした Iwaki et al. (2016)と同様の手法により破壊不均質性を付与した震源モデルを試作した。破壊不均質性を付与しない震源モデルによる長周期地震動シミュレーション結果および観測記録との比較を行い、M9 級の地震に対する破壊不均質性付与の効果を確認した。具体的な検討内容を以下に示す。

（1）震源モデル

平成 23 年東北地方太平洋沖地震の震源像は、周期 10 秒程度を境にして短周期側と長周期側で異なることが主に地震動記録から推定された震源モデルから示唆されており、それらは互いに相補的であるとの見方もある（三宅・他 2016）。比較的短周期帯域（0.1-10 秒程度）の解析からは震源付近やそれより深い領域に強震動生成域（SMGA）が推定されている（Asano and Iwata 2012; 川辺・釜江 2013）のに対し、それよりも長周期帯域（およそ 10 秒以上）での解析では震源付近から海溝軸付近に数 10m 以上の大きなすべりが推定されている（例えば Suzuki et al. 2011; Yoshida et al. 2011）。

本検討では長周期地震動ハザードマップの目的を鑑みて対象周期をおおむね 2-20 秒とし、海溝軸付近の浅い領域における大すべり域、それより深い領域における SMGA と背景領域からなる特性化震源モデルを構築する。SMGA には川辺・釜江（2013）によるモデルを参照する。海溝軸付近の大すべり域は対象周期帯の地震動への寄与は小さいと考え、津波レシピ（地震調査委員会、2017）を参考にすべり量を設定する。全体の震源域及び地震モーメントをインバージョン解析による震源モデルから設定し、全体から SMGA と大すべり域を除いた残りの領域を背景領域とする。

特性化震源モデルにマルチスケール不均質（関口・吉見、2006）による破壊不均質性を付与し、計算される地震動への影響を調べる。以下では不均質を付与したモデルを「不均質モデル」、付与しないモデルを「均質モデル」と呼ぶ。以下に震源モデルの設定方針を記す。

1. 全体の震源域と地震モーメントは、長周期帯域（周期 8-50 秒）を対象とした Suzuki et al. (2011)のモデルを参考に設定する。
2. 太平洋プレート上面 1 km に、真上から見て 500 m 間隔となるように点震源を配置し、それぞれの strike、dip、rake 角をその位置でのプレート形状とプレート全体の平均的な沈み込み角度（115°；平成 23 年長期評価）から求める。
3. SMGA には、川辺・釜江（2013）による 5 つの SMGA の位置形状、面積、地震モーメント、応力降下量を用いる。
4. 海溝軸付近の深さ 12km 未満の領域に全体の面積のそれぞれ 20%、10%となるように大すべり域（以下 LMGA と記す）と超大すべり域（以下 SLMGA）を設定する。LMGA と SLMGA のすべり量は、全体の面積と地震モーメントから得られる平均すべり量のそれぞれ 2 倍と 4 倍とする。

5. 全体の地震モーメントから SMGA、LMGA、SLMGA の地震モーメントを引いたものを背景領域の地震モーメントとし、背景領域のすべり量や実効応力をレシピに従って求める。背景領域の実効応力を求めるのに必要となる、SMGA 全体の応力降下量は、そこから求められる短周期レベルが個々の SMGA による短周期レベルの合算値と等しくなるように決めた。
6. SMGA および背景領域内はレシピに従い中村・宮武（2000）によるすべり速度時間関数を設定する。関数の立ち上がり幅を決める fmax は 13.5Hz とする。LMGA と SLMGA においては三角形関数とし、背景領域と同じライズタイム（三角形の幅）とした
7. 気象庁による震央位置を破壊開始点とし、S 波速度の 72%の破壊伝播速度で破壊が伝わるものとする。ただし、各 SMGA は川辺・釜江（2013）で求められたそれぞれの破壊開始時刻・破壊開始点を用いて SMGA 内部を一定速度で破壊を伝播させる。
8. 不均質モデルには破壊伝播速度・すべり量・滑り角にマルチスケール不均質を与える。

図 3.1-4 に震源モデルの概要図を示す。表 3.1-4 と表 3.1-5 に均質モデルにおける震源パラメータとライズタイム、表 3.1-6 に震源域の媒質物性値（下部地殻）を示す。

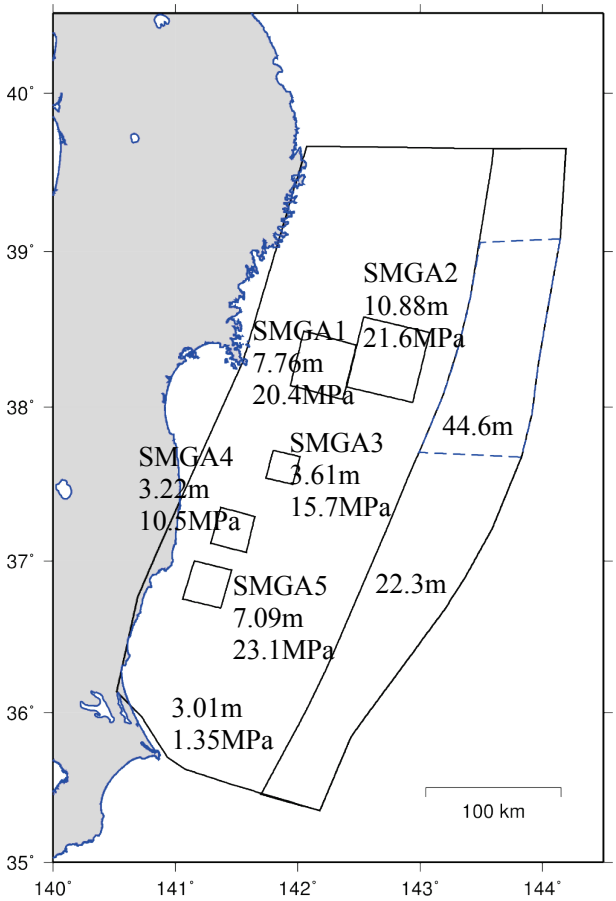


図 3.1-4　本検討で設定した東北地方太平洋沖地震の特性化震源モデル。

表 3.1-4　特性化震源モデルの震源パラメータ。

面積	km^2	9,8015.10
地震モーメント	Nm	4.42E+22
モーメントマグニチュード		9.0
平均すべり量	M	11.15
短周期レベル	Nm/s^2	3.82E+20
平均静的応力降下量	MPa	3.00
SMGA 総面積	km^2	6,225.0
SMGA 総地震モーメント	Nm	2.03E+21
SMGA1 面積	km^2	1,600
SMGA1 すべり量	m	7.76
SMGA1 地震モーメント	Nm	5.0E+20
SMGA1 応力降下量	MPa	20.4
SMGA2 面積	km^2	2,500
SMGA2 すべり量	m	10.88
SMGA2 地震モーメント	Nm	1.10E+21
SMGA2 応力降下量	MPa	21.6
SMGA3 面積	km^2	441
SMGA3 すべり量	m	3.61
SMGA3 地震モーメント	Nm	6.43E+19
SMGA3 応力降下量	MPa	15.7
SMGA4 面積	km^2	784
SMGA4 すべり量	M	3.22
SMGA4 地震モーメント	Nm	1.02E+20
SMGA4 応力降下量	MPa	10.5
SMGA5 面積	km^2	900
SMGA5 すべり量	m	7.09
SMGA5 地震モーメント	Nm	2.58E+20
SMGA5 応力降下量	MPa	23.1
LMGA 面積	km^2	19,109
LMGA すべり量	m	22.31
LMGA 地震モーメント	Nm	1.72E+22
SLMGA 面積	km^2	9,558
SLMGA すべり量	m	44.61
SLMGA 地震モーメント	Nm	1.72E+22
背景面積	km^2	63,123
背景幅	km	221
背景すべり量	m	3.02
背景地震モーメント	Nm	7.70E+21
背景実効応力	MPa	1.3490

図 3.1-5a に均質モデルの破壊時刻分布を示す。SMGA にはそれぞれ破壊遅れがあるのに対し、背景領域は一定速度で破壊が進み、SMGA よりも 30 秒ほど先に断層端に破壊がおわる。この震源モデルに基づく計算波形は、特に関東平野内など破壊開始点から遠方の観測点において背景領域による地震動が先に到達し、観測記録と整合的ではない。また、地震波形記録から推定される震源モデルではおよそ 120 秒程度以上かけて破壊が進んでおり（例えば Suzuki et al. 2011）、Uchide (2013) では様々な破壊伝播方向を含む複雑な断層破壊によって断層全体の破壊伝播速度が見かけ上遅い可能性を指摘している。本検討では、単純化した震源モデルでできるだけ観測波形を説明するため、背景領域、LMGA、SLMGA の破壊伝播速度を SMGA よりも 10%遅い、S 波速度の約 65%と仮定した震源モデルを用いる。図 3.1-5b に、背景領域の破壊時刻を遅くした均質モデルの破壊時刻分布を示す。

不均質モデルでは、Iwaki et al. (2016) と同様の手法で最大空間スケールが最小 SMGA サイズに相当するマルチスケール不均質（関口・吉見 2006）を付与する。表 3.1-7 に各パラメータに与える変動量の最大値を示す。不均質なすべり分布と破壊時刻分布を用いて、LMGA と SLMGA を除いた各点震源の震源時間関数をすべて足し合わせた震源全体の震源時間関数を求め、震源スペクトルが対象周期帯でおおむね ω^{-2} に従うことを確認した（図 3.1-6）。また、応力降下量の小さい背景領域や海溝付近の領域と SMGA では震源不均質性の特徴が異なる可能性を考慮するため、SMGA 以外の領域では表 3.1-7 に示した値の半分の変動量を与えた不均質モデルも検討した。図 3.1-7 にそれぞれの不均質モデルのすべり量分布および破壊時刻分布を示す。

表 3.1-5　ライズタイムの設定値（秒）。

SMGA1	SMGA2	SMGA3	SMGA4	SMGA5	背景領域	LMGA	SLMGA
7.3	9.1	3.8	5.1	5.5	32.5	32.5	32.5

表 3.1-6　震源域の媒質物性値。

V_P	m/s	6400
V_S	m/s	3800
密度	kg/m^3	2800
剛性率	N/m^2	4.04E+10

表 3.1-7　不均質モデルのパラメータ最大変動量。

破壊伝播速度	m/s	400
すべり量	m	平均すべり量の 1/2
すべり角	°	±45

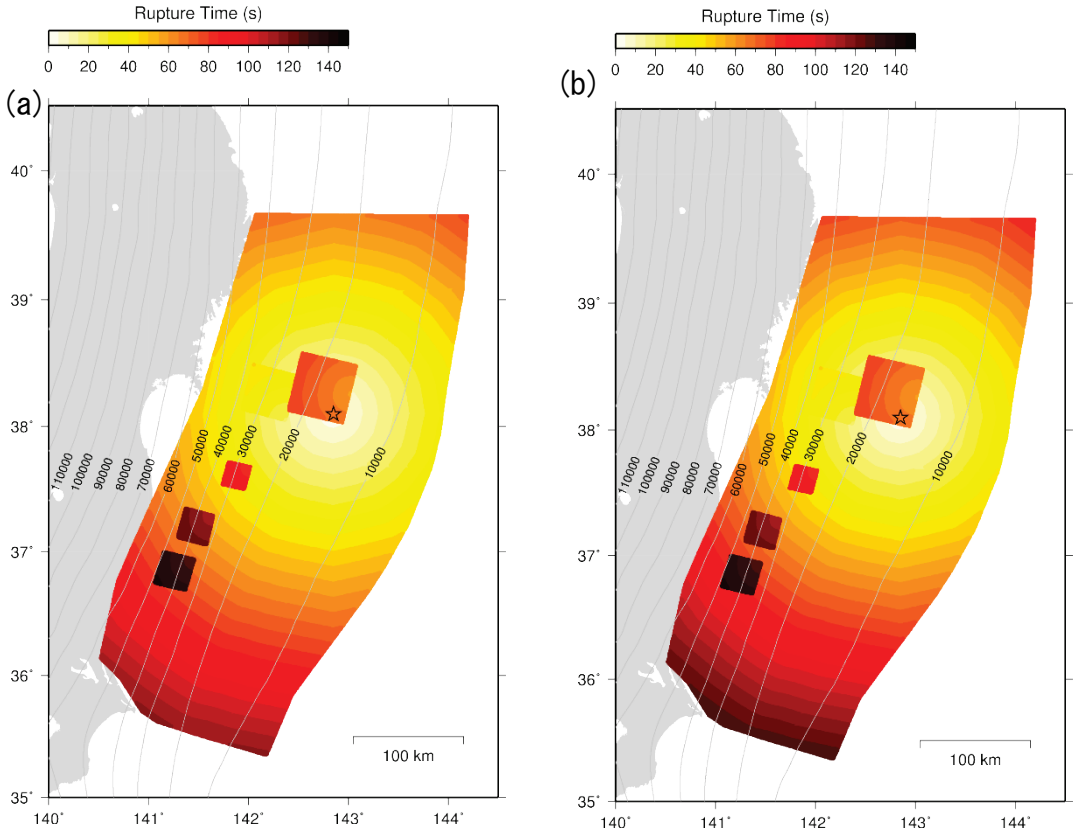
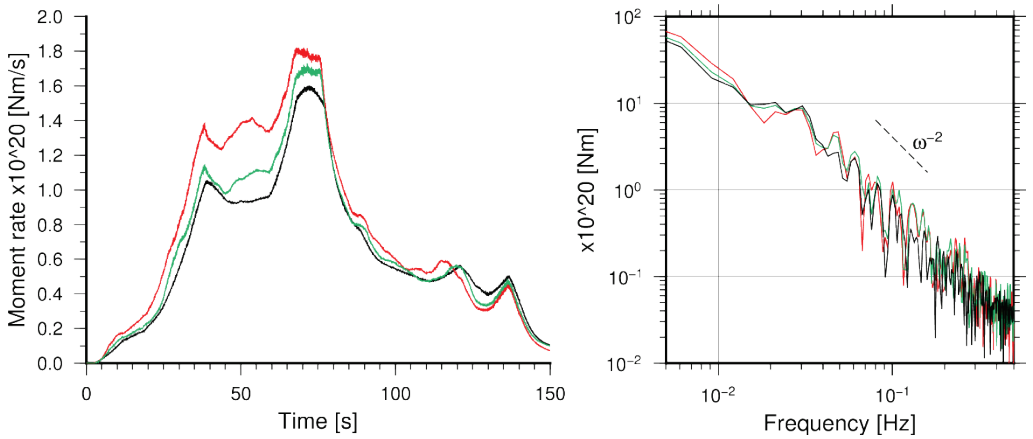


図 3.1-5　(a) 均質モデルの破壊時刻分布。(b) SMGA 以外の破壊伝播速度を遅くした均質モデルの破壊時刻分布。



黒：均質モデル、赤：不均質モデル、緑：背景領域の不均質性を半分にしたモデル

図 3.1-6　震源全体の震源時間関数と震源スペクトル。

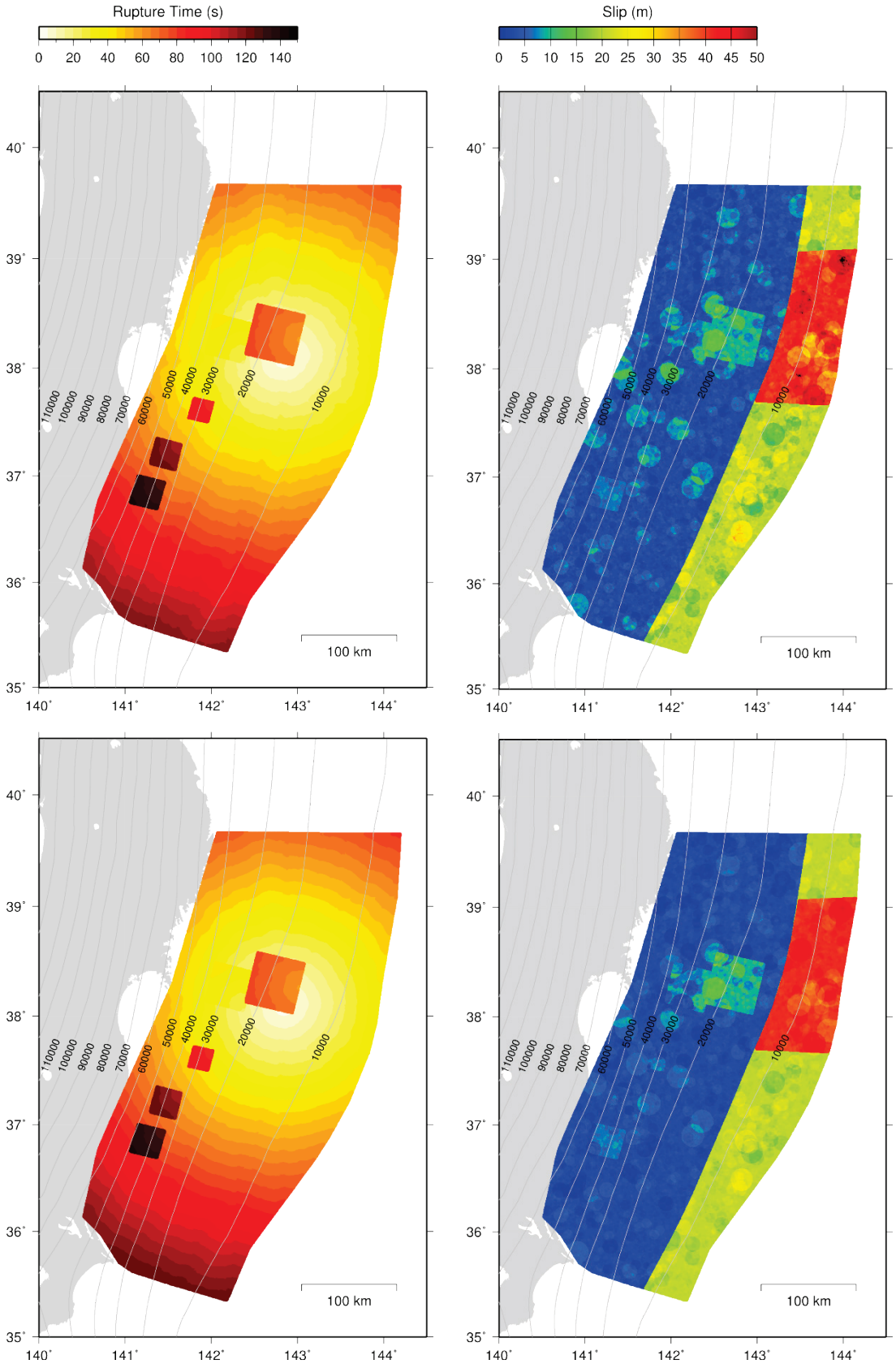


図 3.1-7　不均質モデルのすべり分布と破壊時刻分布。上：表 4 の変動量を載せた不均質モデル、下：SMGA 以外の変動量を半分にした不均質モデル

（2）地震動シミュレーション

周期 2 秒以上を対象に三次元差分法（GMS；青井・他 2004）による地震動シミュレーションを行う。差分法による計算の概要は以下のとおりである。

- 地下構造モデル：全国一次地下構造モデル（暫定版）（地震調査委員会、2012）
  - 第 1 層（VS=350 m/s）の物性値を第 2 層（VS=500 m/s）の物性値で置換
  - 地表近くの層厚 50m 以下の層を除去
  - Q 値の参照周期：5 秒
- 格子間隔：不連続格子（Aoi and Fujiwara, 1999）
  - 水平方向 200 m、深さ方向 100 m（深さ 0–8 km）
  - 水平方向 600 m、深さ方向 300 m（深さ 8–70 km）
- 時間間隔：0.008333 秒（約 120 Hz）
- 時間ステップ数：42000 ステップ（350 秒間）
- 計算領域：約 850 km (NS)×850 km (EW)×70 km (鉛直方向)　（約 19 億格子）

（3）シミュレーション結果

シミュレーションで得られた計算速度波形に 0.5Hz のローパスフィルタ（または 0.1-0.5 Hz のバンドパスフィルタ）をかけて時間刻み 40Hz にリサンプリングした。

図 3.1-8 に観測速度波形と均質モデル、不均質モデルによる計算速度波形の比較を示す。ここでは特に周期 10 秒以下の波群に注目するために、0.1 – 0.5 秒のバンドパスフィルタをかけた波形を示す。全体的に、主な波群の到来時刻などは観測記録と整合的である。また、波形の振幅は均質モデルよりも不均質モデルの方が大きく、観測記録との整合性もよい。すなわち、マグニチュード 8 クラスの 2003 年十勝沖地震を対象とした検討（例えば、Iwaki et al., 2016）と同様に、最も小さい SMGA でも 20km×20km を超えており、単純化された特性化震源モデルを用いた差分法による地震動シミュレーションでは周期 10 秒程度以下の地震動振幅が小さく計算されるのに対して、破壊伝播の不均質性を導入することである程度回復することがマグニチュード 9 クラスの地震に対しても確かめられたと言える。対して関東平野内（千葉、東京）や日本海側の堆積層の厚い観測点でも、不均質モデルの方が継続時間の長い地震動の振幅をよりよく再現している。

図 3.1-9 に観測フーリエ振幅スペクトルと均質モデル、不均質モデルによる計算フーリエ振幅スペクトルの比較を示す。フーリエ振幅スペクトルで見ると、均質モデルは周期およそ 6-8 秒（0.1Hz と 0.2Hz の間）よりも短周期側で観測よりも小さいのに対し、不均質モデルではおおむねその周期帯で均質モデルよりも系統的に振幅が大きくなり、観測記録により近い。

なお、本検討では長周期地震動ハザードマップの目的から対象周期を 2 - 20 秒としたが、多くの観測点で周期 10 秒よりも長い周期帯で計算が観測を下回っている。震源モデルのうち、SMGA モデル（川辺・釜江、 2013）が対象としている周期 10 秒よりも長い周期帯に寄与すると考えられる海溝軸付近の浅い領域（LMGA、SLMGA を設定した領域）のモデル化が十分でない可能性がある。例えば破壊伝播の単純さの影響が考えられる。本検討の震

源モデルでは SLMGA 内では主に陸域から離れる方向に破壊が伝播するが、Suzuki et al. (2011)の震源モデルでは、海溝軸付近のすべりの大きい領域内で海溝軸から陸域に向かう方面に破壊が伝播する様子も見られる。

図 3.1-10 に、地図上の各観測点における PGV と速度応答スペクトル（減衰 5% ; 以下 Sv）（周期 2、3、5 秒）の均質モデルに対する不均質モデルの比の自然対数を示す。Sv は各周期における水平 2 成分の大きい方の値、PGV は 0.1-0.5 秒のバンドパスフィルタをかけた三成分波形の最大値をとった。Sv（2 秒）では多くの地点で不均質モデルは均質モデルの 2 倍（自然対数で約 0.7）以上の振幅となり、局所的には４～８倍程度におよぶ地点もある。Sv（2 秒）に比べると Sv（3、5 秒）はやや小さいものの、PGV 比はおおむね 2 倍以内に収まっている。PGV は周期 10 秒付近の長周期成分が寄与しており、不均質性の影響が周期 2-5 秒と比べると小さいと考えられる。

図 3.1-11 に PGV、 Sv（2、3、5 秒）の観測記録に対する不均質モデルの比を示す。PGV は観測記録のおおむね倍半分（自然対数で±0.7 以内）に収まっている地点が多いが、関東地方以南などで過小評価傾向にある。Sv も同様の傾向だが、特に周期 2 秒では過小評価の地点が多い。不均質性を導入したことにより均質モデルと比べて観測記録の再現性は向上しているが（図 3.1-8 および図 3.1-9）、場所によっては過小評価であると言える。ただし、本検討で用いた地下構造モデルにおいて、福島県沖や茨城県沖の震源域に関しては検証が十分ではないため、過小評価の要因が震源モデル以外にもある可能性が残されている。

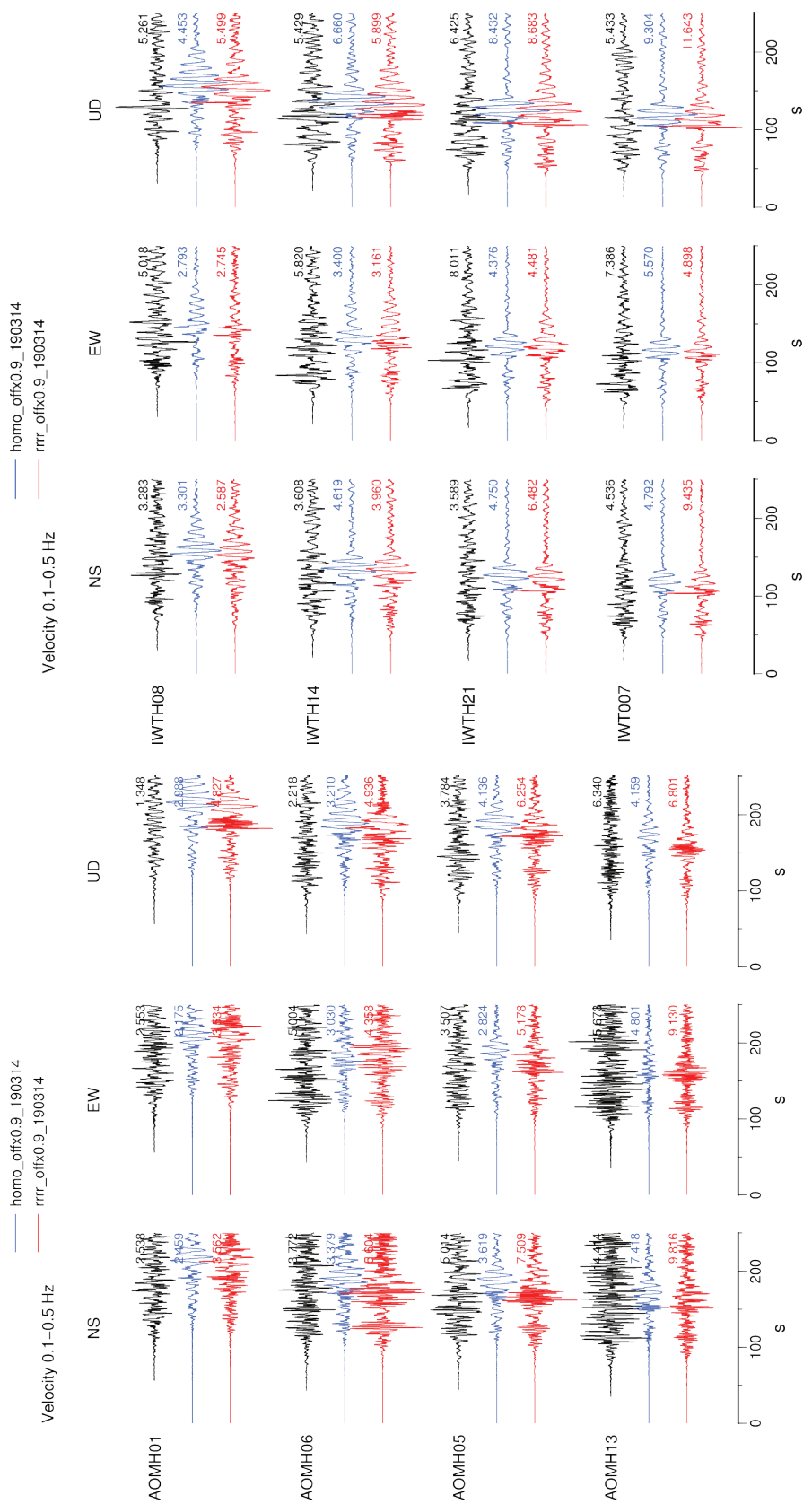


図 3.1-8(1)　速度波形(0.1-0.5Hz)の比較。（青森、岩手県内の観測点）
黒：観測、青：均質モデル、赤：不均質モデル

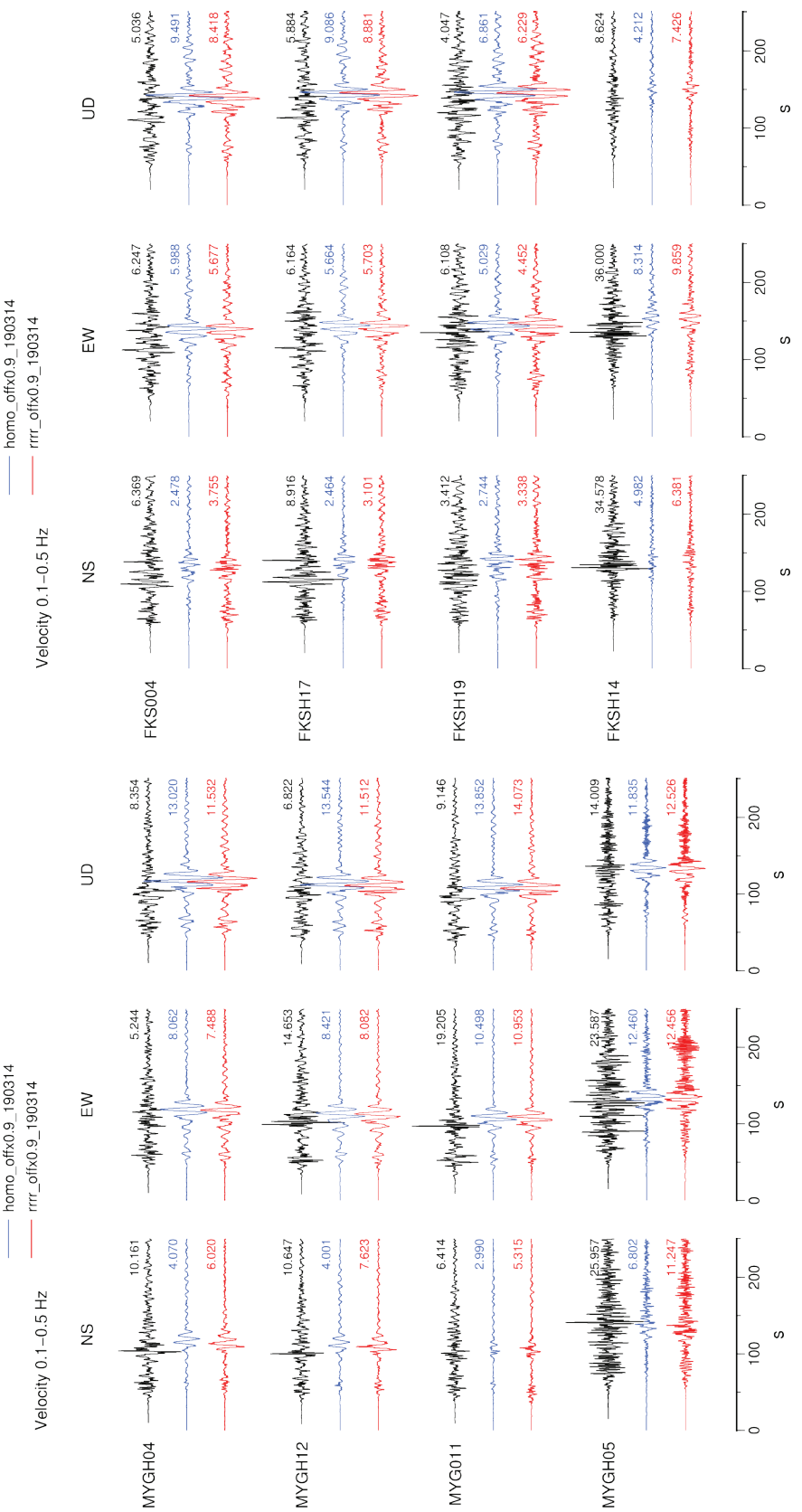


図 3.1-8(2)　速度波形(0.1-0.5Hz)の比較。（宮城、福島県内の観測点）

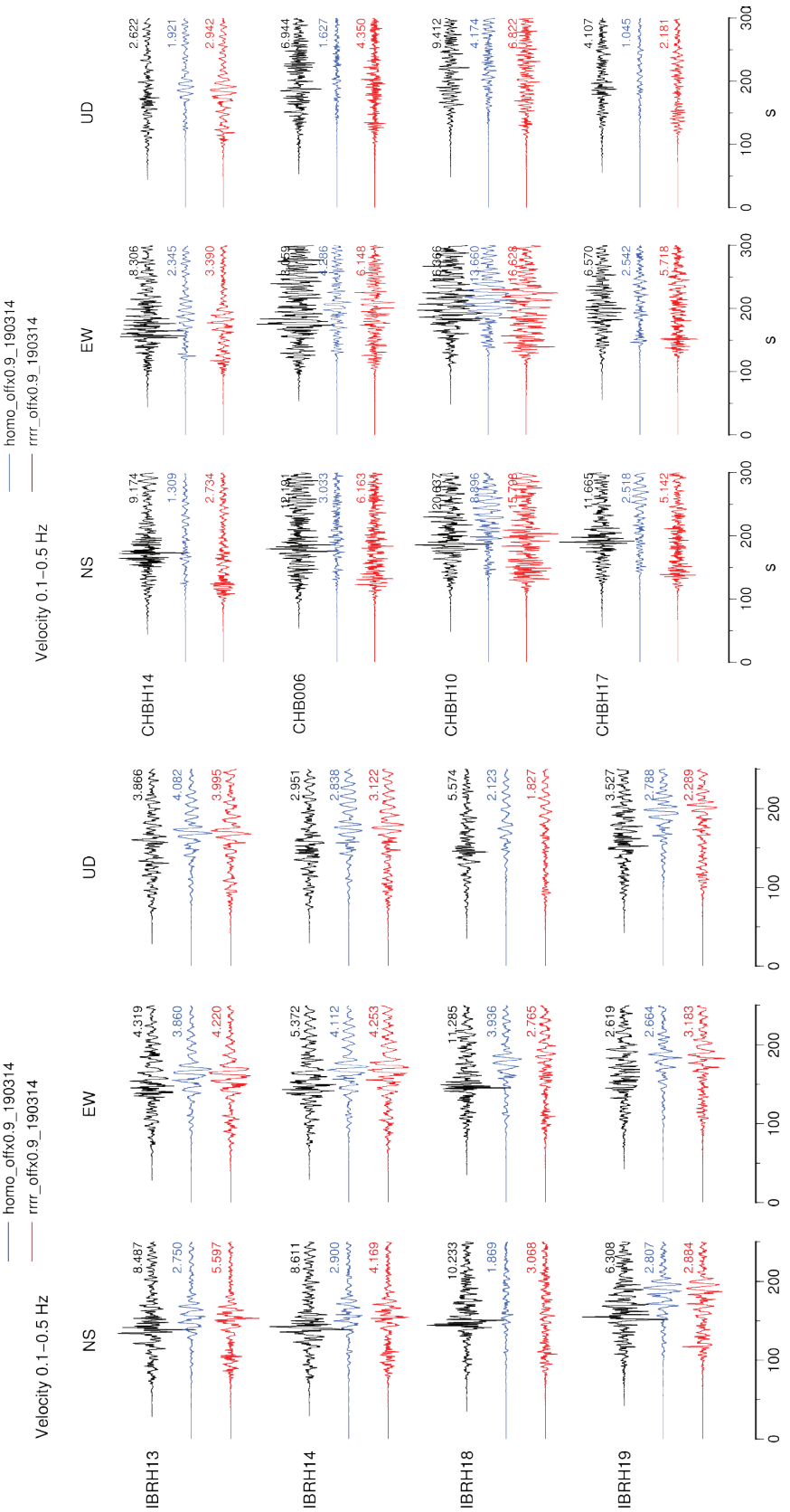


図 3.1-8(3)　速度波形(0.1-0.5Hz)の比較。（茨城、千葉県内の観測点）

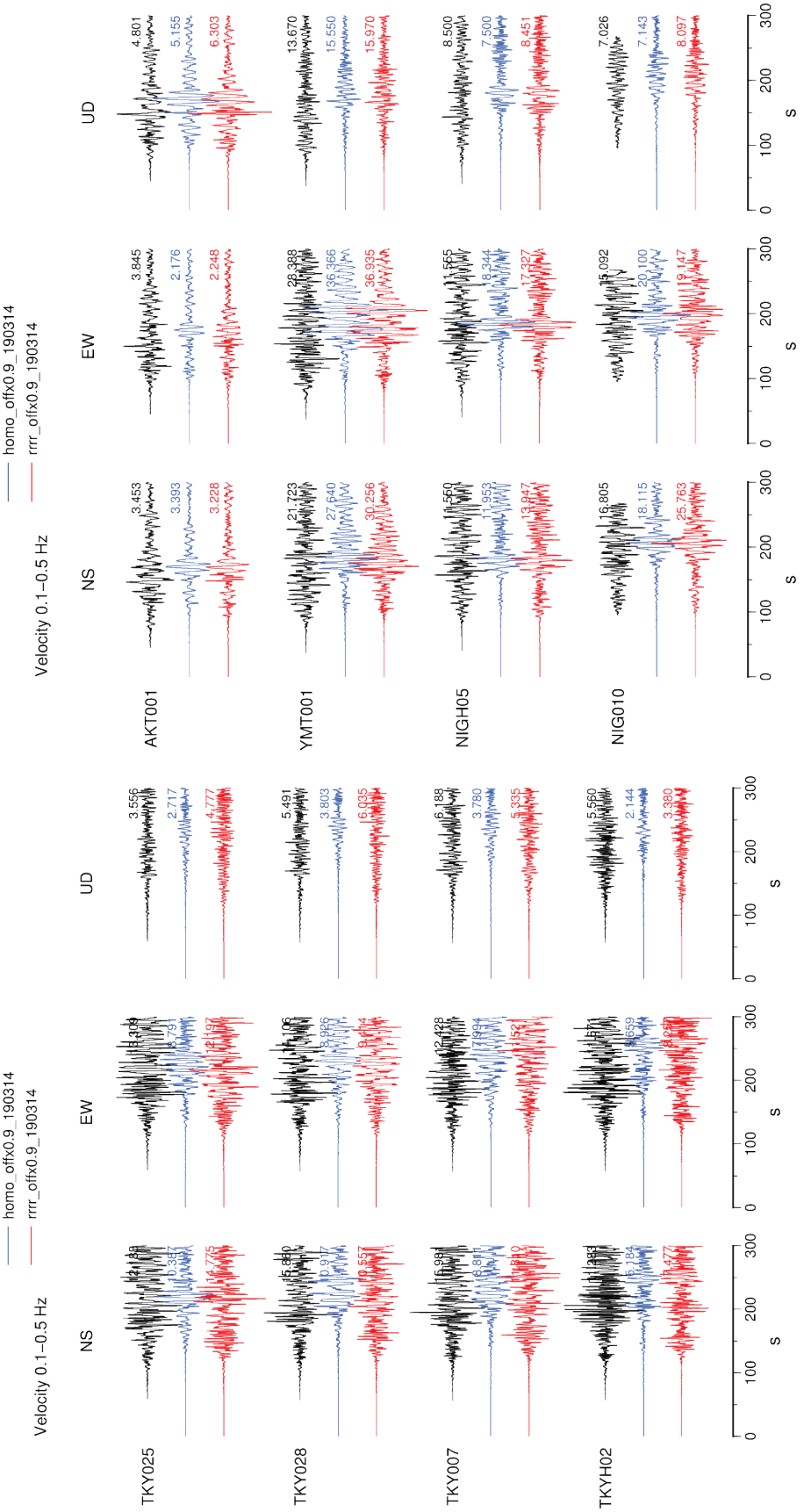


図 3.1-8(4)　速度波形(0.1-0.5Hz)の比較。（東京都内と日本海側の観測点）

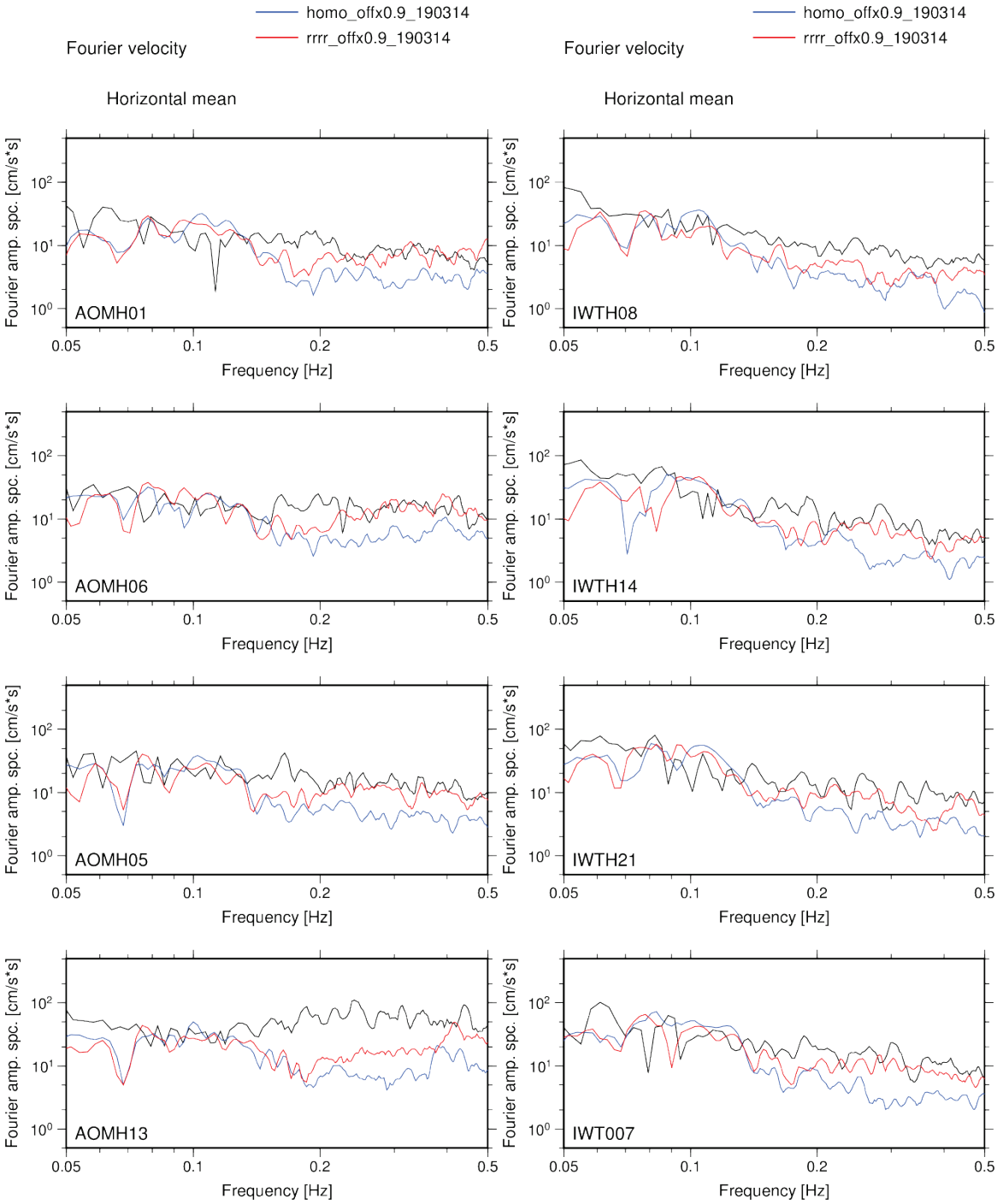


図 3.1-9(1)　速度フーリエ振幅スペクトルの比較。（青森、岩手県内の観測点）

黒：観測、青：均質モデル、赤：不均質モデル

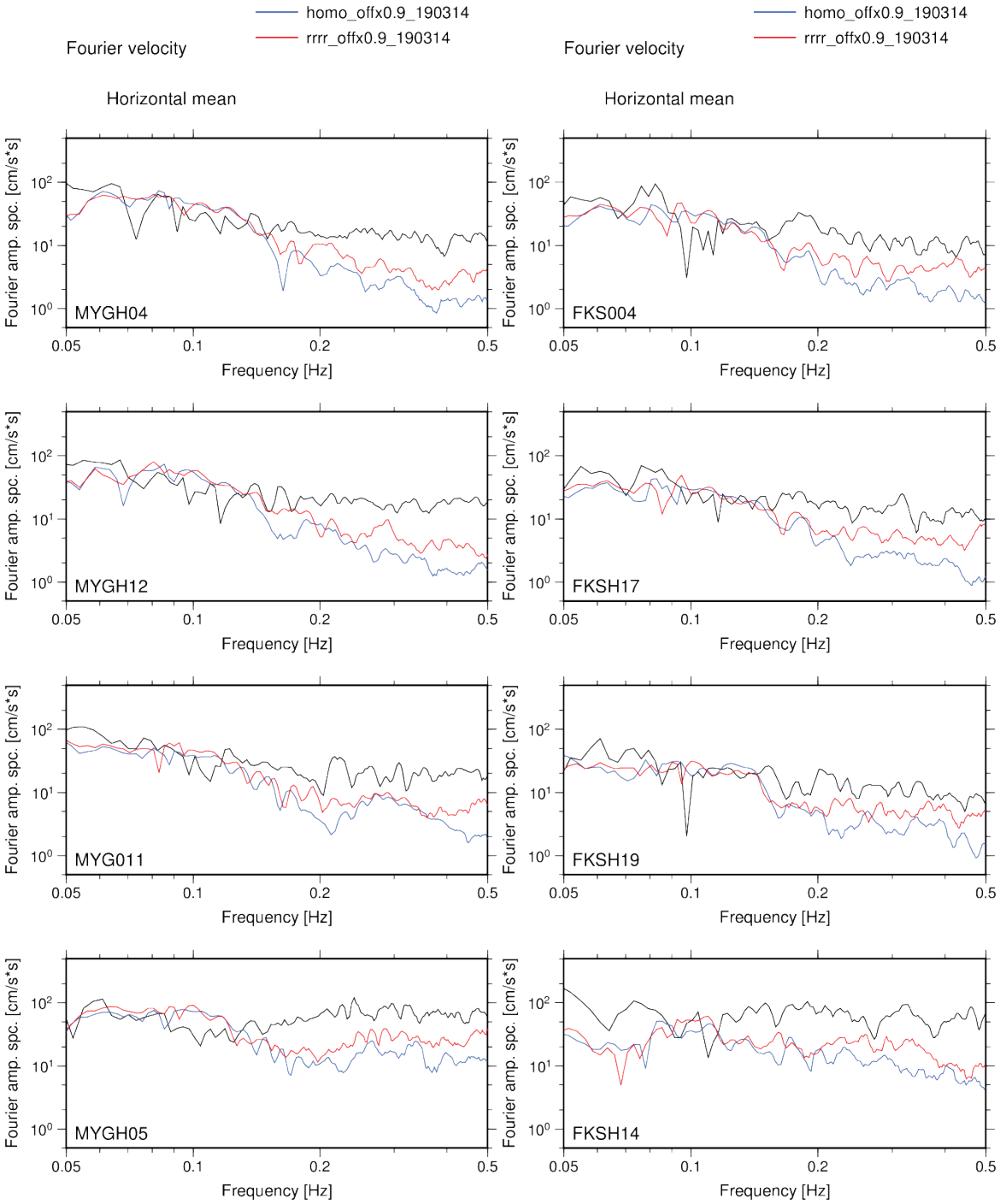


図 3.1-9(2)　速度フーリエ振幅スペクトルの比較。（宮城、福島県内の観測点）

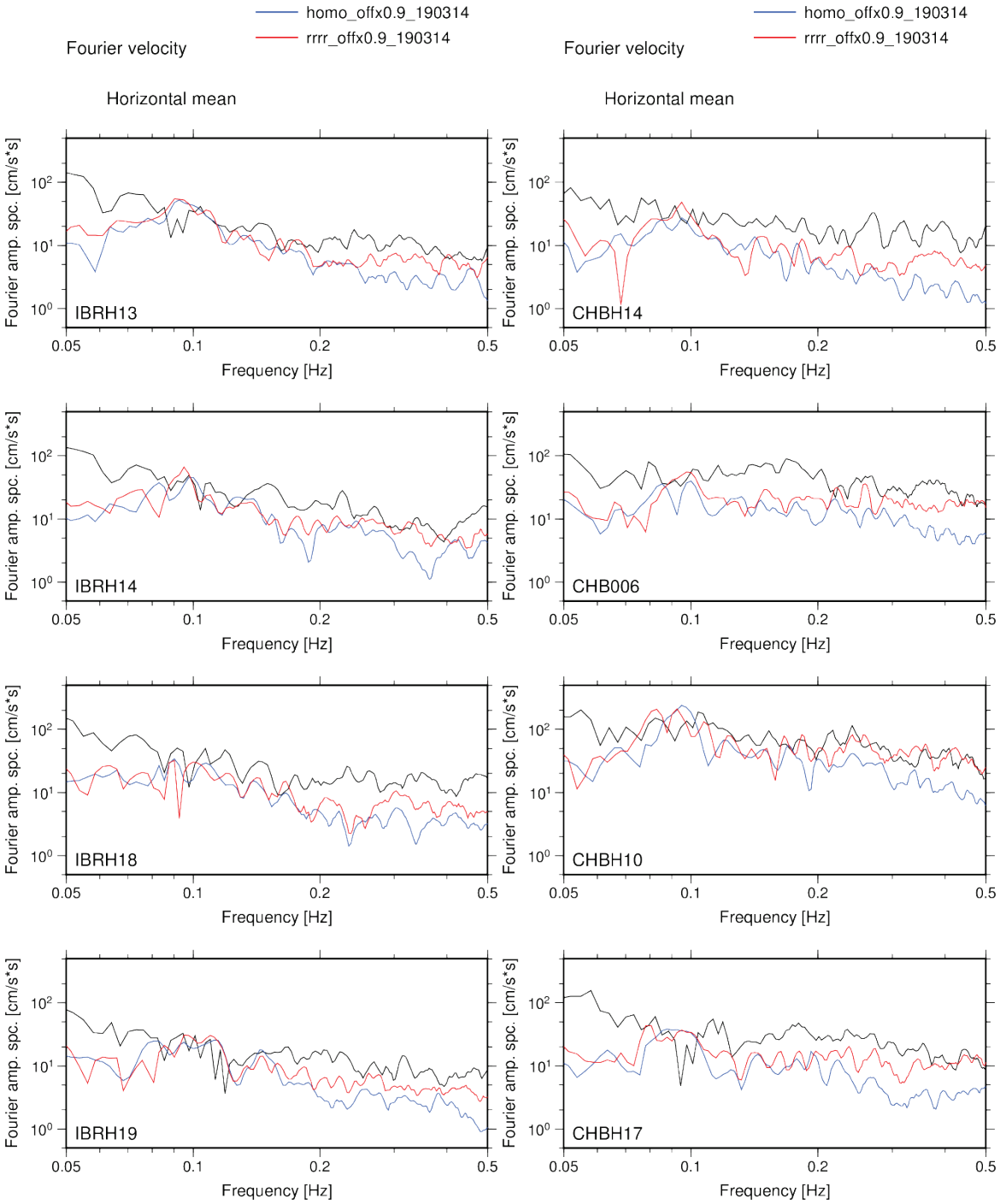


図 3.1-9(3)　速度フーリエ振幅スペクトルの比較。（茨城、千葉県内の観測点）

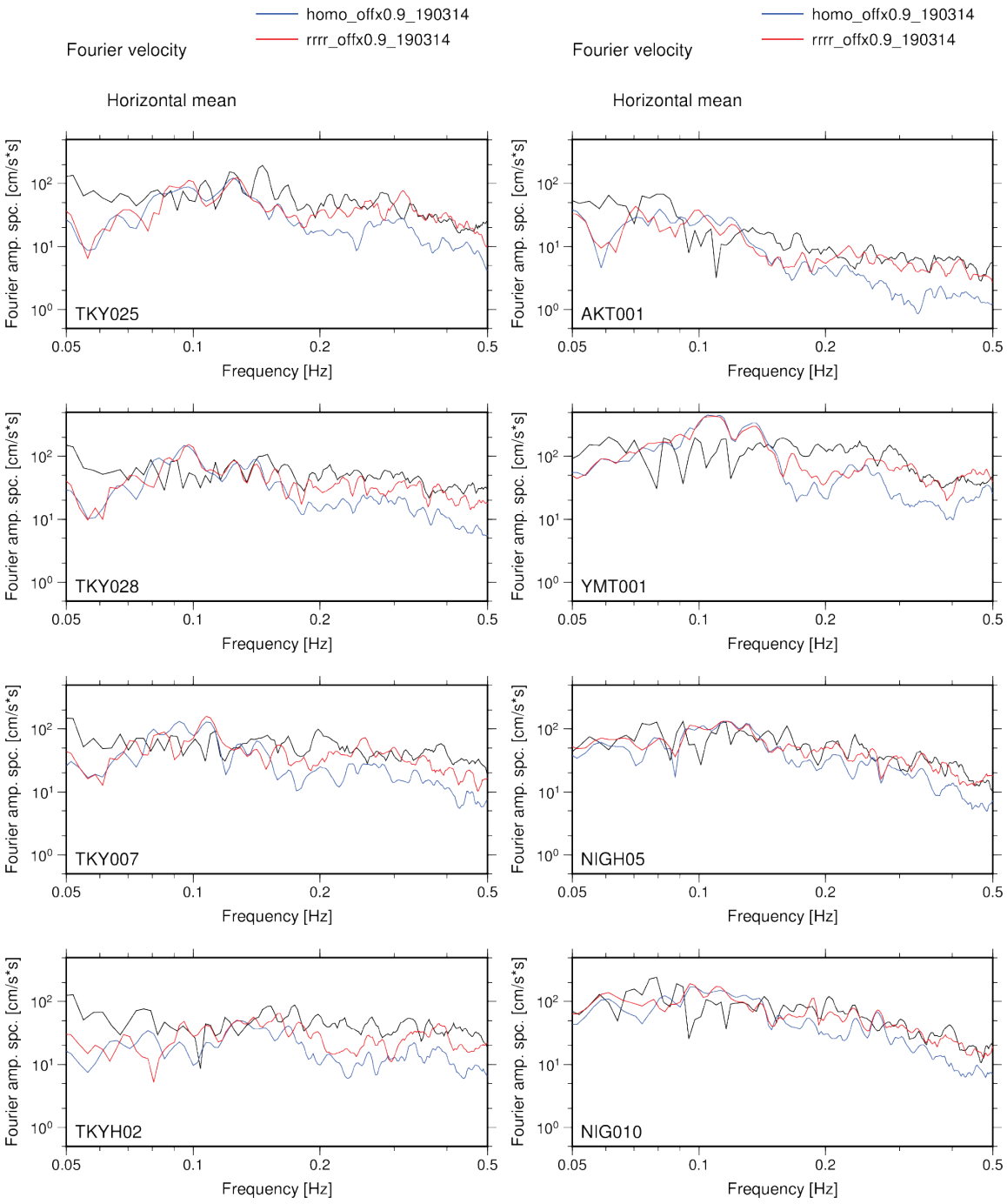


図 3.1-9(4)　速度フーリエ振幅スペクトルの比較。（東京都内、日本海側の観測点）

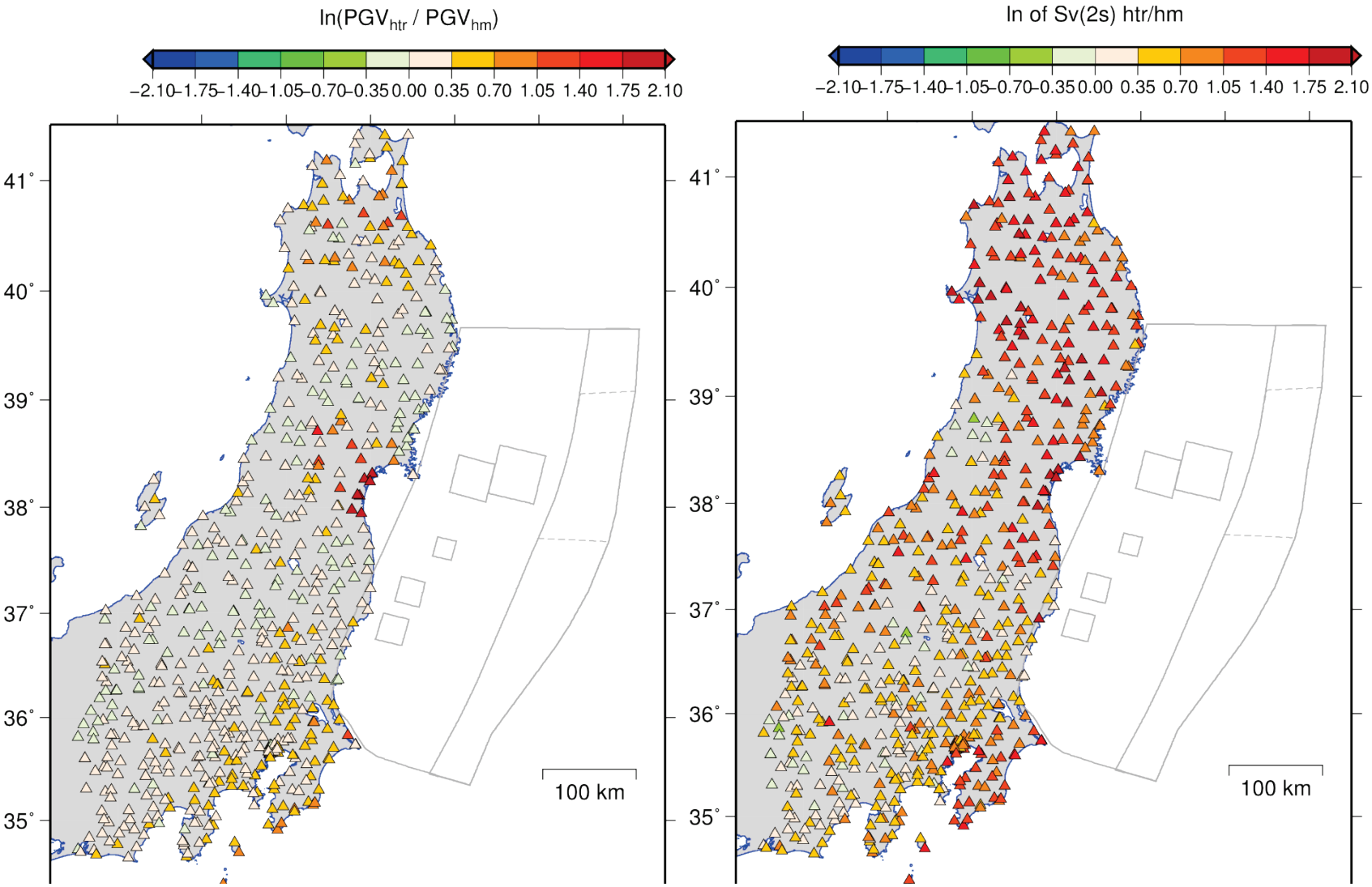


図 3.1-10(1)　均質モデルに対する不均質モデルの比。左：PGV、右：Sv（周期 2 秒）

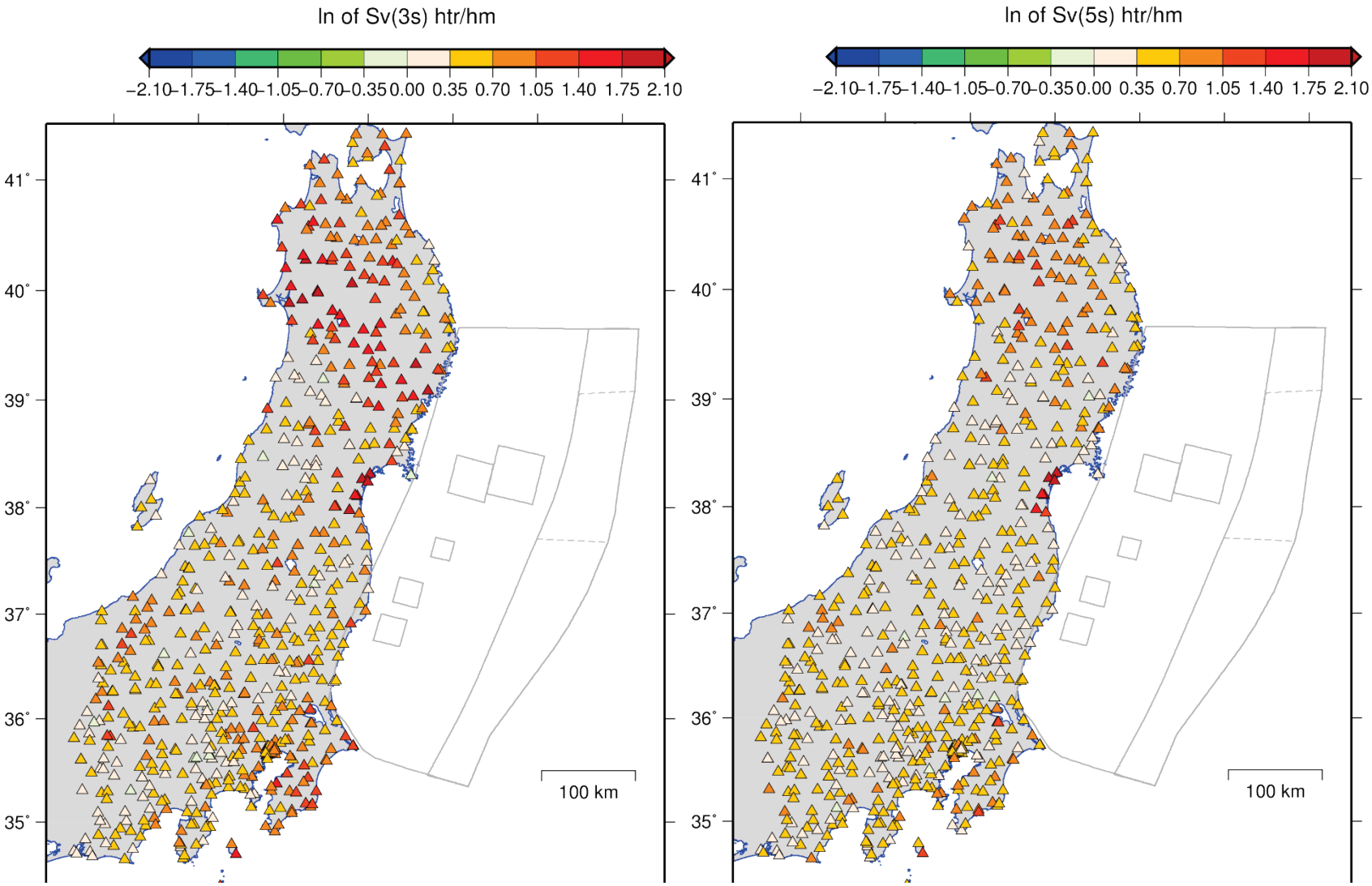


図 3.1-10(2)　均質モデルに対する不均質モデルの比。左：Sv（周期 3 秒）右：Sv（周期 5 秒）

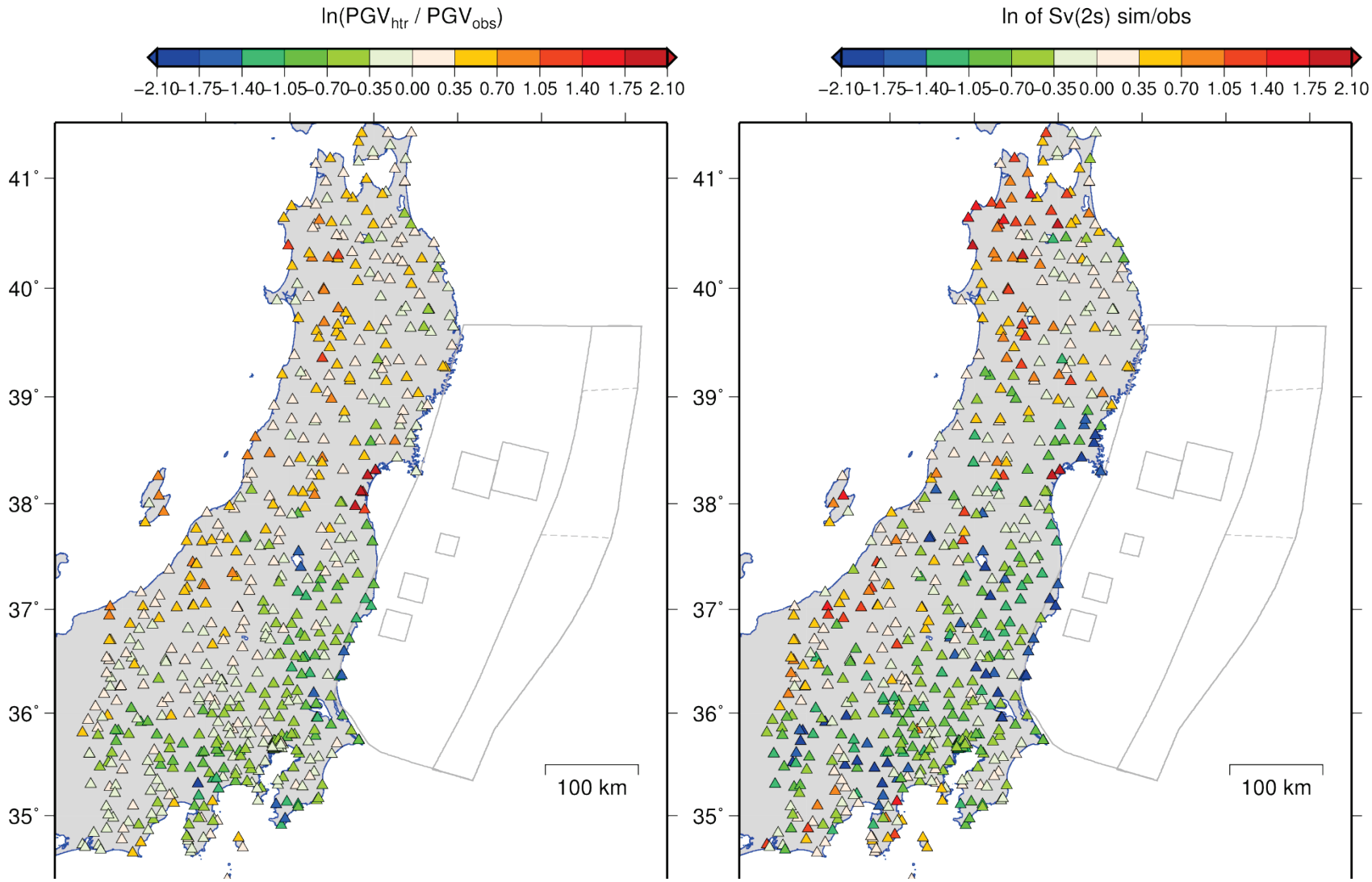


図 3.1-11(1)　観測記録に対する不均質モデルの比。左：PGV 右：Sv（周期 2 秒）

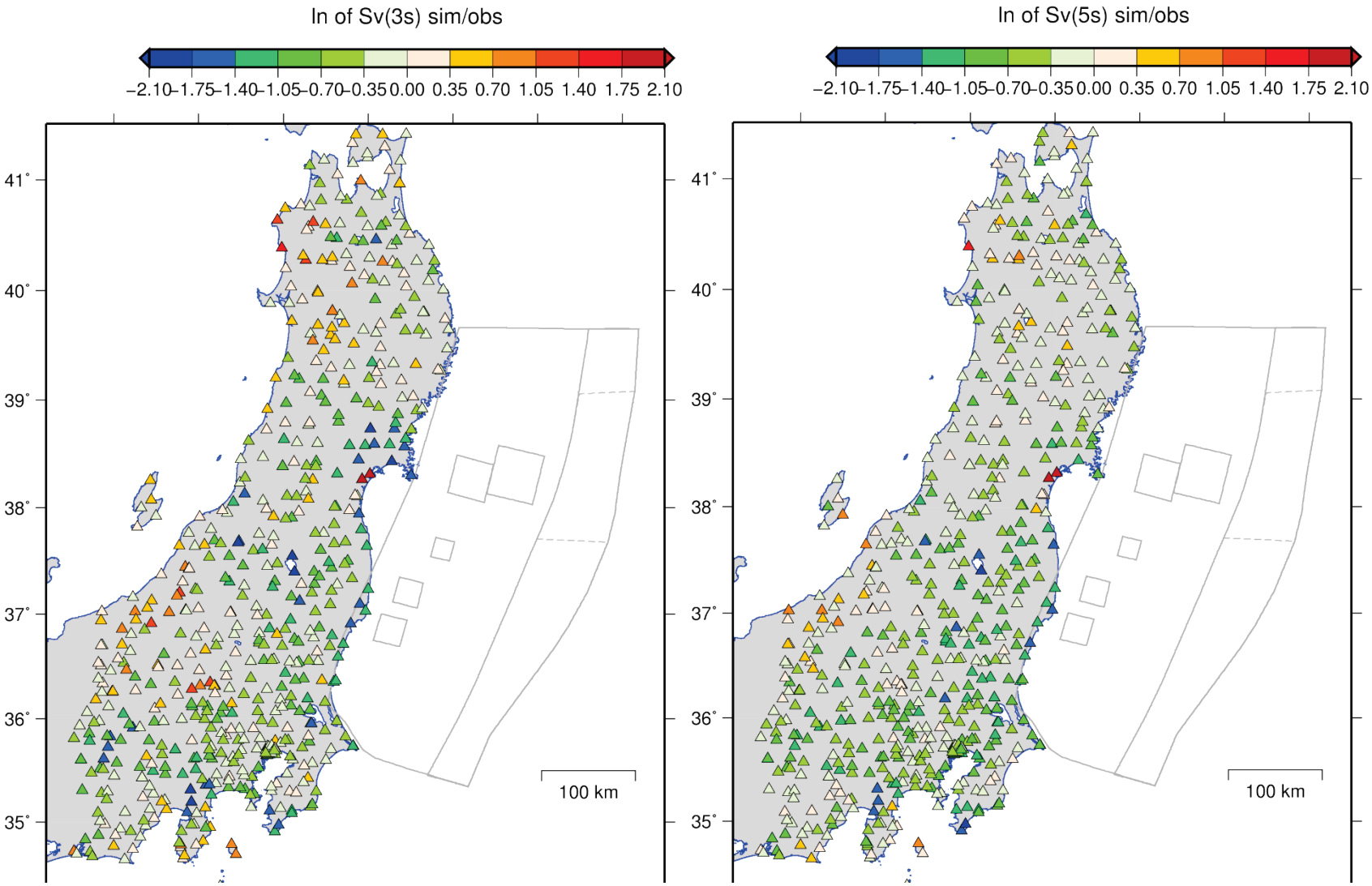
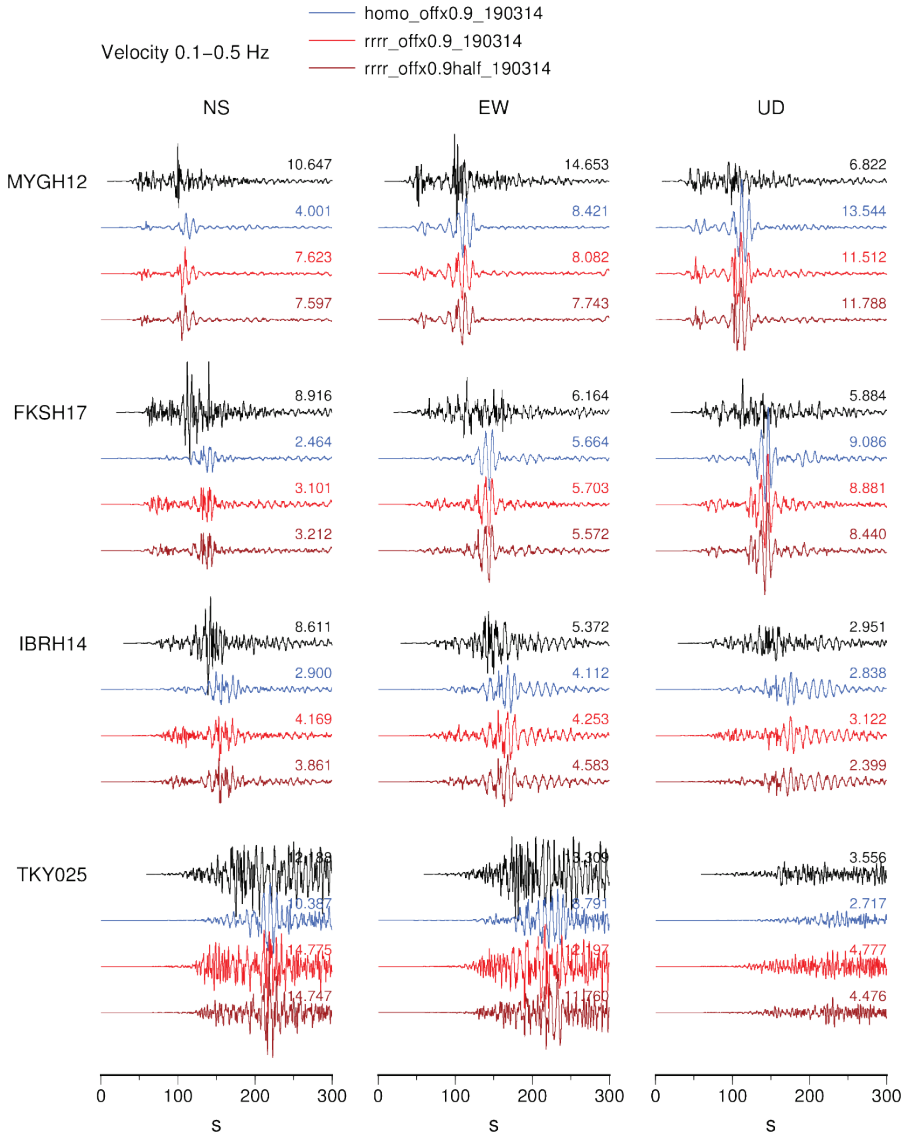


図 3.1-11(2)　観測記録に対する不均質モデルの比。左：Sv（周期 3 秒）右：Sv（周期 5 秒）

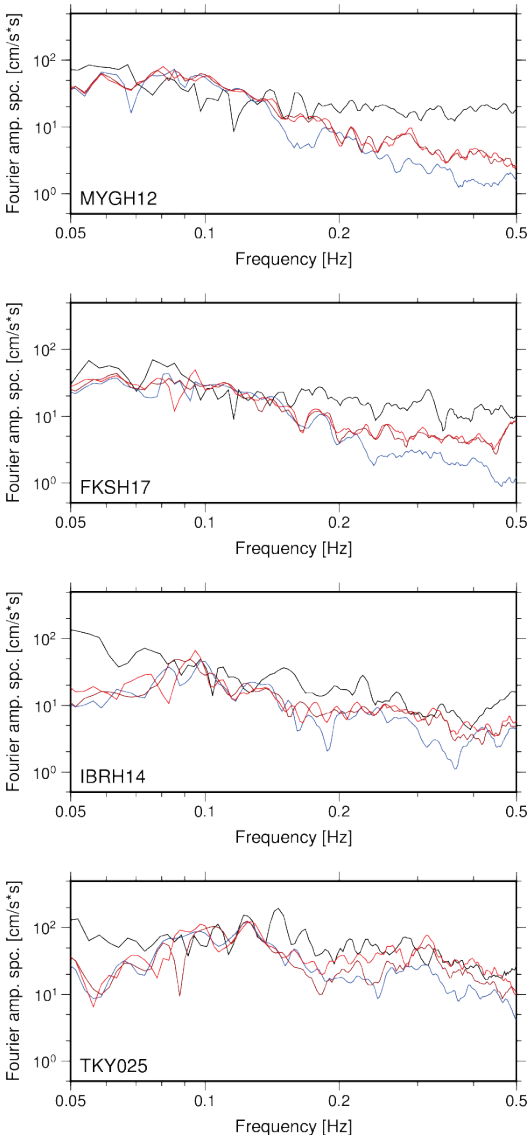
SMGA 以外の領域（背景領域、LMGA、SLMGA）で表 4 に示した値の半分の変動量を与えた不均質モデル（以下では不均質半分モデルと呼ぶことにする）について、速度波形とフーリエ振幅スペクトル例をそれぞれ図 3.1-12 および 3.1-13 に示す。

また、不均質性導入の影響について計算領域全体の傾向を見るために、均質モデルに対する不均質モデルと不均質半分モデルのフーリエ振幅スペクトル比をとり、計算領域中の K-NET、KiK-net 観測点での平均値と標準偏差を図 3.1-14 にプロットした。どちらの不均質モデルも周期 6-8 秒程度（0.1 から 0.2 Hz の間）よりも短周期側で均質モデルよりも顕著に振幅が大きくなり、周期 2 秒では平均で 2 倍強の振幅になる。不均質半分モデルは全帯域で不均質モデルよりも振幅がやや小さくなる傾向が見られ、周期 10 秒以上では標準偏差も小さくなった。SMGA に対する不均質性の有無そのものが周期 2-10 秒程度の地震動シミュレーションにおける振幅を大きくする要因となっている一方で、SMGA 以外の領域に関しては周期 10 秒以上も含めた広い周期帯に対して大きくはないものの影響している。



黒：観測、青：均質モデル、赤：不均質モデル、茶：不均質半分モデル

図 3.1-12　速度波形（0.1-0.5Hz）の比較。



黒：観測、青：均質モデル、赤：不均質モデル、茶：不均質半分モデル

図 3.1-13　速度フーリエ振幅スペクトル（水平成分幾何平均）の比較。

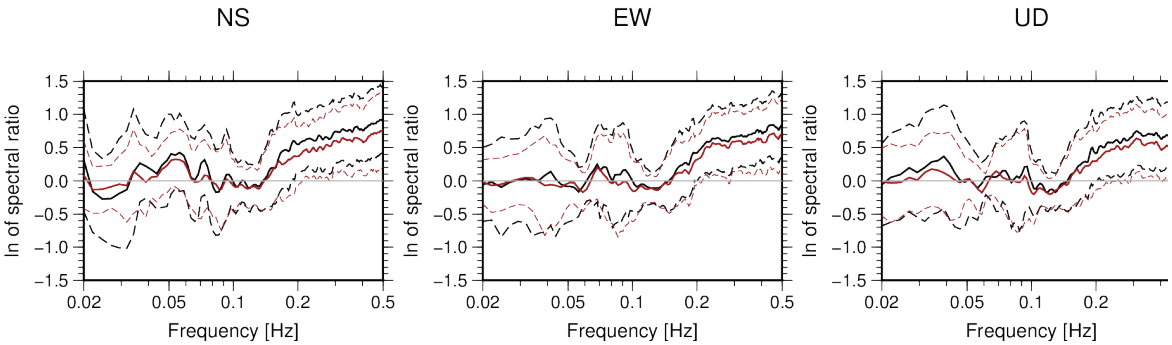


図 3.1-14　速度フーリエ振幅スペクトルの均質モデルに対する不均質モデルの比の平均（実線）と標準偏差（破線）。黒：不均質モデル、茶：不均質半分モデル

(c) 結論ならびに今後の課題

南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）で例示されている震源域のうち、「東海」域と「南海」域が同時に活動する地震として示されている 6 通りの震源域を対象として、アスペリティ（強震動生成域）および破壊開始点の不確実さを考慮し、さらに Iwaki et al. (2016) に従ってすべり量、破壊伝播速度、すべり角に関する不均質さを付与した 126 ケースの震源モデルを作成した。

平成 23 年東北地方太平洋沖地震を対象として、強震動生成域 SMGA（川辺・釜江、2013）、背景領域、海溝軸付近の浅い領域における大すべり域（LMGA と SLMGA）からなる特性化震源モデルを構築し、震源パラメータ（破壊伝播速度、すべり量、すべり角）にマルチスケール不均質を付与した。周期 2 - 20 秒を対象として三次元差分法による長周期地震動シミュレーションを行い、震源不均質性導入の効果と観測記録の再現性を調べた。不均質モデルは周期 6 - 8 秒程度（0.1 から 0.2 Hz の間）よりも短周期側で均質モデルよりも顕著に振幅が大きくなる。フーリエ振幅スペクトルについて均質モデルに対する不均質モデルの比をとると、周期 2 秒では計算領域内の平均で 2 倍強の振幅になった。周期 10 秒以上では空間的なばらつきは大きいものの、平均としては均質モデルとの比は小さかった。

観測記録の再現性について、均質モデルでは速度波形の主要な波群の到来時刻を再現することはできたが、観測と比べて系統的に振幅が小さかった。不均質モデルでは均質モデルと比べて振幅が大きくなり、周期 2 - 10 秒の観測記録をおおむね再現することができた。ただし、周期 10 – 20 秒の帯域では多くの地点で観測記録よりも過小評価であった。これは SMGA 以外の震源のモデル化が不十分であることによると考えられ、今後の課題である。

以上より、東北地方太平洋沖地震のようなマグニチュード 9 クラスの地震を対象とした長周期地震動ハザードマップの作成には、震源モデルに関して背景領域における不均質性導入の詳細なモデル化手法の確立ともに、震源域全体の詳細な三次元地下構造モデルの構築・検証が課題として残されていることが明らかとなった。地下構造モデルに関しては海域の構造探査や地震観測データの蓄積とそれに基づく調査研究が行われつつあり、それらを取り入れていくことが必要となる。一方で、震源モデルに関しては、検討対象となるマグニチュード 9 クラスの地震が東北地方太平洋沖地震のみであり、詳細なモデル化手法の確立はすぐには困難であると思われる。

(d) 引用文献

Aoi, S., & Fujiwara, H. (1999). 3D finite-difference method using discontinuous grids. Bulletin of the Seismological Society of America, 89(4), 918–930.

青井真・早川俊彦・藤原広行(2004). 地震動シミュレータ：GMS. 物理探査, 57(6), 651–666.

Asano, K., & Iwata, T. (2012). Source model for strong ground motion generation in the frequency range 0.1–10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake. Earth, Planets and Space, 64(12), 1111–1123. https://doi.org/10.5047/eps.2012.05.003

Iwaki, A., T. Maeda, N. Morikawa, S. Aoi and H. Fujiwara (2013): Kinematic source models for

long-period ground motion simulations of megathrust earthquakes: validation against ground motion data for the 2003 Tokachi-oki earthquake, Earth Planets Space, 68:95.

地震調査委員会（2013）: 南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）.

地震調査委員会（2016）: 長周期地震動評価 2016 年試作版－相模トラフ巨大地震の検討－.

文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所（2014）: 平成 25 年度長周期地震動予測地図作成等支援事業　成果報告書.

川辺秀憲・釜江克宏 (2013). 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源のモデル化. 日本地震工学会論文集, 13(2), 75–87.

Koketsu, K., Miyake, H., & Suzuki, H. (2012). Japan Integrated Velocity Structure Model Version 1. Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, 1–4.

三宅弘恵・浅野公之・纐纈一起・岩田知孝 (2016). 2011 年東北地方太平洋沖地震の強震記録を用いた震源モデルの概要. 日本地震工学会論文集, 16(4), 12–21.

中村洋光・宮武隆 (2000). 断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式. 地震第 2 輯, 53, 1–9.

関口春子・吉見雅行(2006). 広帯域地震動予測のための海溝型巨大地震アスペリティモデルのマルチスケール不均質化. 月刊地球号外，No.55, 103-109.

Suzuki, W., Aoi, S., Sekiguchi, H., & Kunugi, T. (2011). Rupture process of the 2011 Tohoku-Oki mega-thrust earthquake (M9.0) inverted from strong-motion data. Geophysical Research Letters, 38(20), 2–7.

Uchide, T. (2013). High-speed rupture in the first 20 s of the 2011 Tohoku earthquake, Japan. Geophysical Research Letters, 40(12), 2993–2997.

Yoshida, Y., Ueno, H., Muto, D., & Aoki, S. (2011). Source process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake with the combination of teleseismic and strong motion data. Earth, Planets and Space, 63(7), 565–569.

3.2. 長周期地震動ハザード評価に用いる深部地下構造モデルの調査・作成

(1) 事業の内容

(a) 事業の題目

長周期地震動ハザード評価に用いる深部地下構造モデルの調査・検討

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	部門長	藤原　広行
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	主幹研究員	先名　重樹
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	主任研究員	森川　信之
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	主任研究員	前田　宜浩
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	契約研究員	岩城　麻子

(c) 事業の目的

自治体等で作成された地下構造モデルや地下構造モデルの作成に用いることができるボーリングデータ、物理探査データ等を収集する。それらを全国1次地下構造モデル（暫定版）に取り込む方法を検討し、自然地震記録を用いた検証により既往の全国モデルとの違いを明らかにする。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

最近5年程度以内に実施された自治体の地震被害想定で作成された地下構造モデルについて、作成手法や用いられたデータ（ボーリングデータや物理探査データを含む）等の情報を収集し整理した。関東地域および東海地域については、防災科学技術研究所が実施している総合科学技術・イノベーション会議の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）⑤「レジリエントな防災・減災機能の強化」と連携したデータの収集を行った。また、収集した地下構造モデルおよびデータのうち、利用可能なものについて、平成29年度事業で作成された「全国1次地下構造モデル（暫定版）」を部分改良した地下構造モデルへの取り込みを試行した。このとき、防災科学技術研究所の地震ハザード情報ステーション(J-SHIS)や内閣府（2015）のモデルも参照し、可能であれば、これまでの「活断層の重点的調査観測研究」における強震動計算のために作成された地下構造モデルについても取り込んだ。さらに、取り込みを試行し作成した地下構造モデルを用いて、2004年紀伊半島沖の地震の前震、2009年駿河湾の地震、2011年駿河湾の地震、2013年淡路島付近の地震、2016年三重県南東沖地震に対して、東海地域から四国までの F-net, K-NET, KiK-net 観測点を対象として地震波形計算を行い、既往モデル（サブテーマ（3）で用いる地下構造モデル）によるものと最大速度振幅やスペクトルの再現性を比較した。

(b) 事業の成果

1) 地下構造モデルに関するデータ等の収集

本事業では、平成29年度までの「長周期地震動ハザードマップ作成のための基礎調査・モデル作成等」事業における調査対象に含まれていないものの、南海トラフの地震の影響を大きく受ける中国・四国地方の地方自治体における地震被害想定調査、既往文献等を調査し、地盤構造モデルの改良に資するデータを収集した。

鳥取県（2015）の地震被害想定調査では、微動のH/Vスペクトルや微動の位相速度を用いた地盤モデルの修正が行われている。図3.2-1に微動アレイ調査位置を、図3.2-2に微動H/Vスペクトルのピーク周期を示す。これらのデータを用いて、地盤構造モデルが修正されている。図3.2-3～図3.2-5にモデルの修正例を示す。

徳島県については、微地形区分に基づいて平成15年に作成された表層30mの平均S波速度（AVS30）に対して、ボーリングデータを用いたモデルの改良がなされている（図3.2-6）。

愛媛県については、微動の卓越周期から、全国一次地下構造モデルの修正がなされている（図3.2-7、3.2-8）。

一方で、熊本平野においては、既往文献において微動アレイを用いた地盤モデルの修正が行われている。図3.2-9に微動調査位置を、図3.2-10にVs1200 m/s層上面深度を示す。

上記のデータのうち、鳥取県、熊本平野における地盤モデルの修正を行った。

表１　微動アレイ探査結果

倉吉エリア

AGI

ρ (t/m³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	上面深さ(m)
1.6	1430	130	14	14
1.9	1730	400	15	29
2.2	2400	1000	30	59
2.5	3840	2300	∞	

UNA

ρ (t/m³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	上面深さ(m)
1.7	1510	200	7	7
1.9	1730	400	8	15
2.2	2400	1000	30	45
2.5	3840	2300	∞	

KRC

ρ (t/m³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	上面深さ(m)
1.7	1530	220	8	8
1.9	1730	400	10	18
2.2	2400	1000	20	38
2.5	3840	2300	∞	

KYN

ρ (t/m³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	上面深さ(m)
1.6	1430	130	5	5
1.9	1730	400	15	20
2.2	2400	1000	30	50
2.5	3840	2300	∞	

境港エリア

ABE

ρ (t/m³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	上面深さ(m)
1.7	1630	170	8	8
1.9	1770	300	50	58
2.0	2000	500	65	123
2.2	3000	1500	150	273
2.4	3500	2000	180	453
2.6	5000	3300	∞	

TMS

ρ (t/m³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	上面深さ(m)
1.7	1630	170	28	28
1.9	1770	300	43	71
2.0	2000	500	150	221
2.2	3000	1500	600	821
2.4	3500	2000	800	1621
2.6	5000	3300	∞	

YGH

ρ (t/m³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	上面深さ(m)
1.7	1630	170	15	15
1.9	1770	300	55	70
2.0	2000	500	160	230
2.2	3000	1500	500	730
2.4	3500	2000	500	1230
2.6	5000	3300	∞	

AFC

ρ (t/m³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	上面深さ(m)
1.7	1630	170	20	20
1.9	1770	300	80	100
2.0	2000	500	152	252
2.2	3000	1500	800	1052
2.4	3500	2000	1000	2052
2.6	5000	3300	∞	

SID

ρ (t/m³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	上面深さ(m)
1.7	1630	170	35	35
1.9	1770	300	60	95
2.0	2000	500	160	255
2.2	3000	1500	550	805
2.4	3500	2000	1130	1935
2.6	5000	3300	∞	

SSH

ρ (t/m³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	上面深さ(m)
1.7	1630	170	38	38
1.9	1770	300	58	96
2.0	2000	500	80	176
2.2	3000	1500	890	1066
2.4	3500	2000	1150	2216
2.6	5000	3300	∞	

米子エリア

YSK

ρ (t/m³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	上面深さ(m)
1.7	150	1450	5	5
1.9	220	1560	48	53
2	600	1850	73	126
2.2	1500	2950	100	226
2.4	2000	3500	250	476
2.6	3300	5000	∞	

YTH

ρ (t/m³)	Vp (m/s)	Vs(m/s)	層厚(m)	上面深さ(m)
1.7	150	1450	5	5
1.9	220	1560	37	42
2	600	1850	120	162
2.2	1500	2950	150	312
2.4	2000	3500	200	512
2.6	3300	5000	∞	

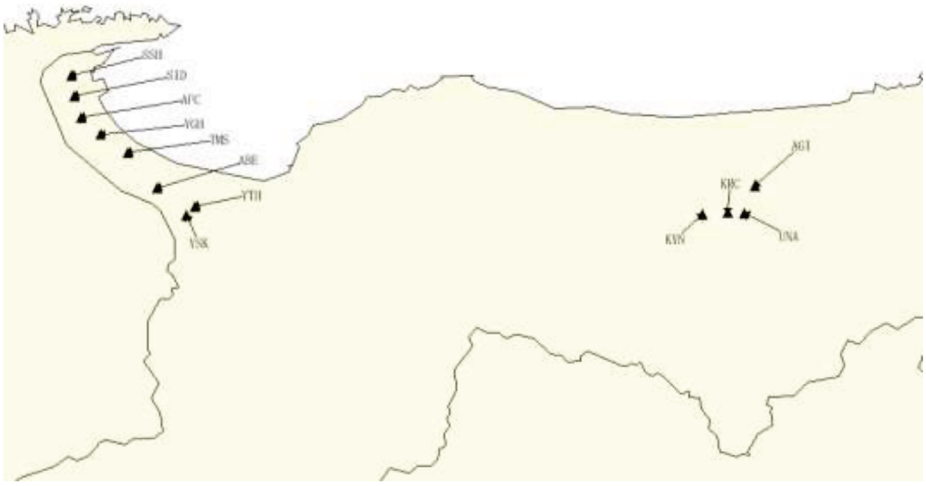


図２　微動アレイ探査の位置

図 3.2-1　鳥取県地震被害想定調査による微動アレイの位置。（鳥取県、2015 より）

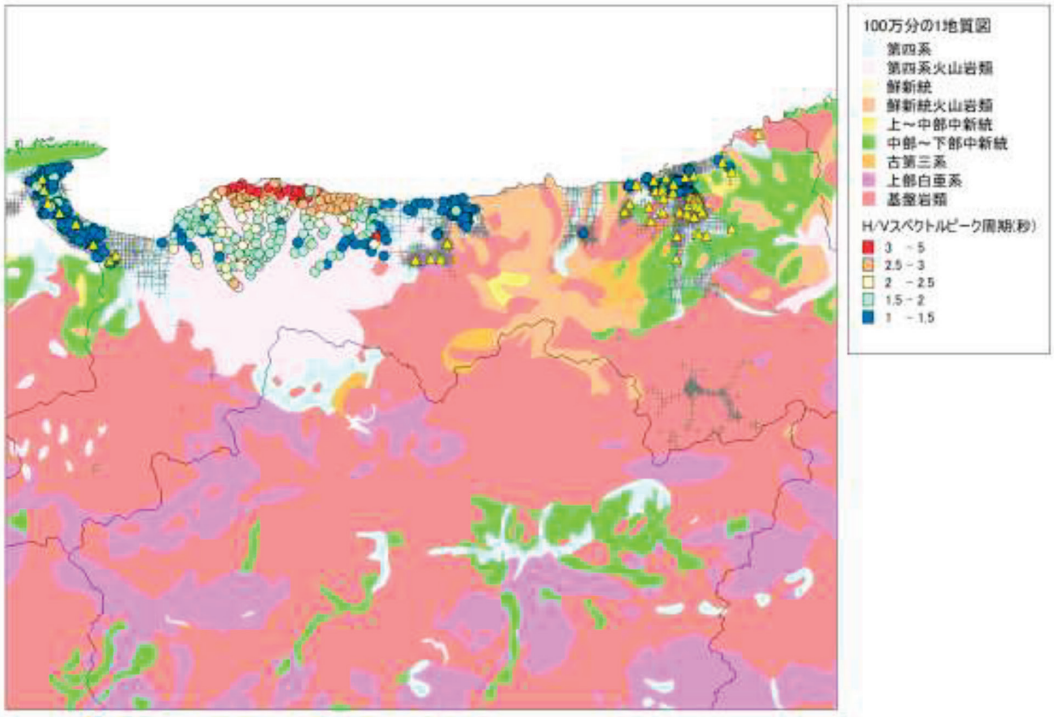


図 3　H/V スペクトルのピーク周期

図 3.2-2　鳥取県地震被害想定調査による微動 H/V スペクトルのピーク周期。（鳥取県、2015 より）

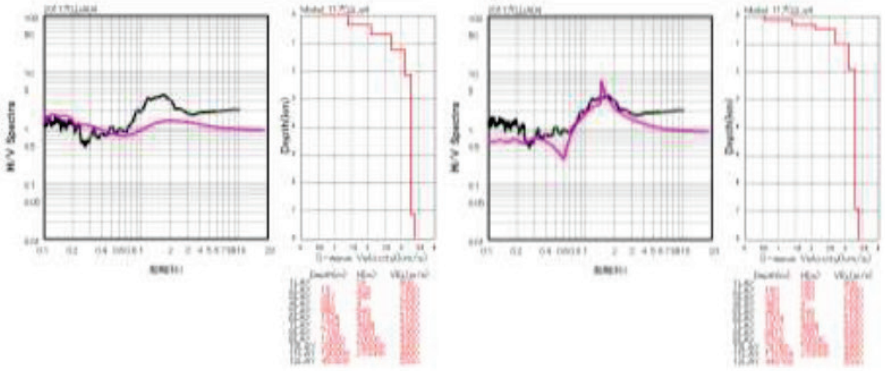


図 4-1　チューニング結果の例　2011 年大山 A04 地点
左：初期モデル　右図：チューニング結果

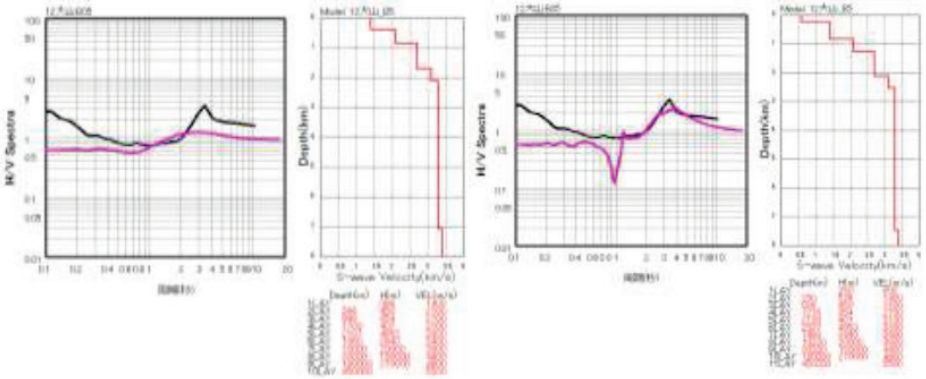


図 4-2　チューニング結果の例　2011 年大山 B05 地点
左：初期モデル　右図：チューニング結果

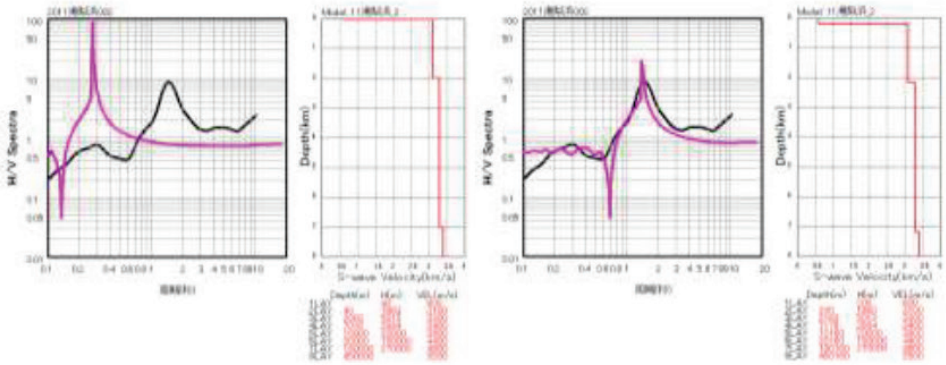


図 4-3　チューニング結果の例　2011 湯梨浜 2 地点
左：初期モデル　右図：チューニング結果

図 3.2-3　鳥取県地震被害想定調査による地盤モデルの修正例。（鳥取県、2015 より）

赤枠のある層は、鳥取県内で深部地盤モデルとして設定されている速度層。

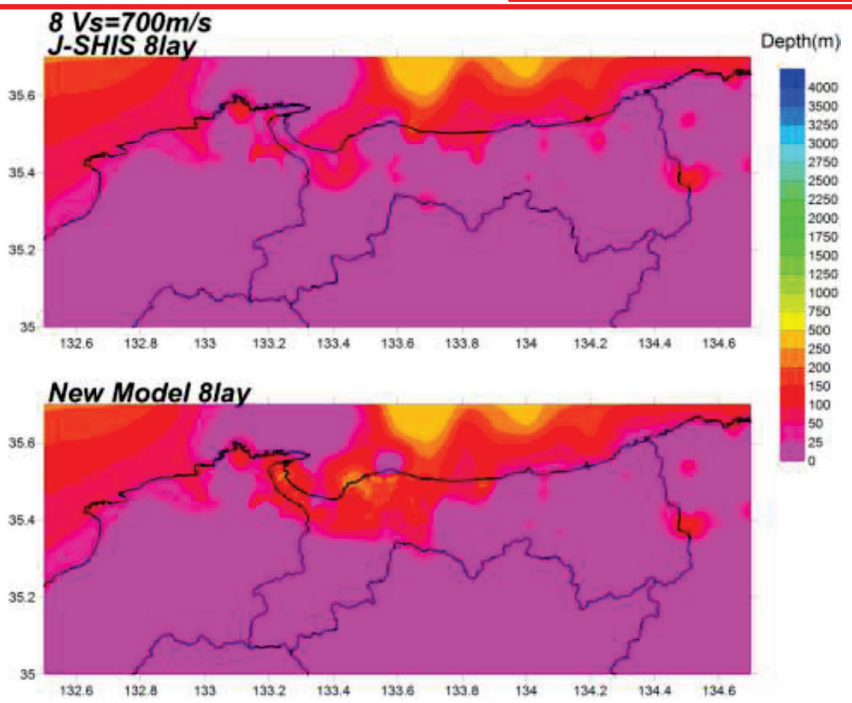


図 5-7　第 8 層 S 波速度 0.7km/s 層上面深度 上：J-SHIS モデル　下：チューニング結果

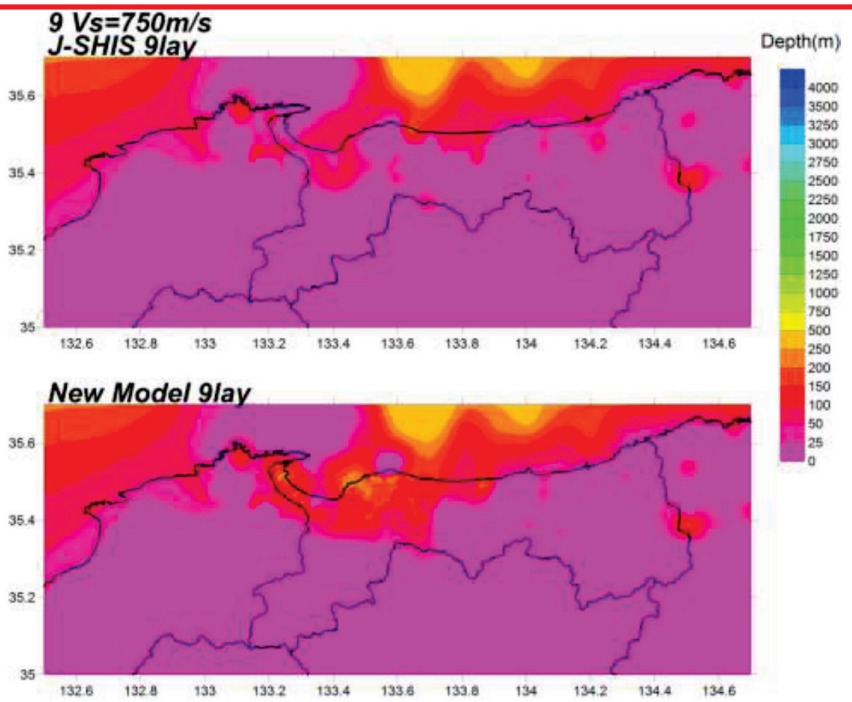


図 5-8　第 9 層 S 波速度 0.75km/s 層上面深度 上：J-SHIS モデル　下：チューニング結果

図 3.2-4　鳥取県地震被害想定調査による地盤モデルの修正例。（鳥取県、2015 より）

赤枠のある層は、鳥取県内で深部地盤モデルとして設定されている速度層。

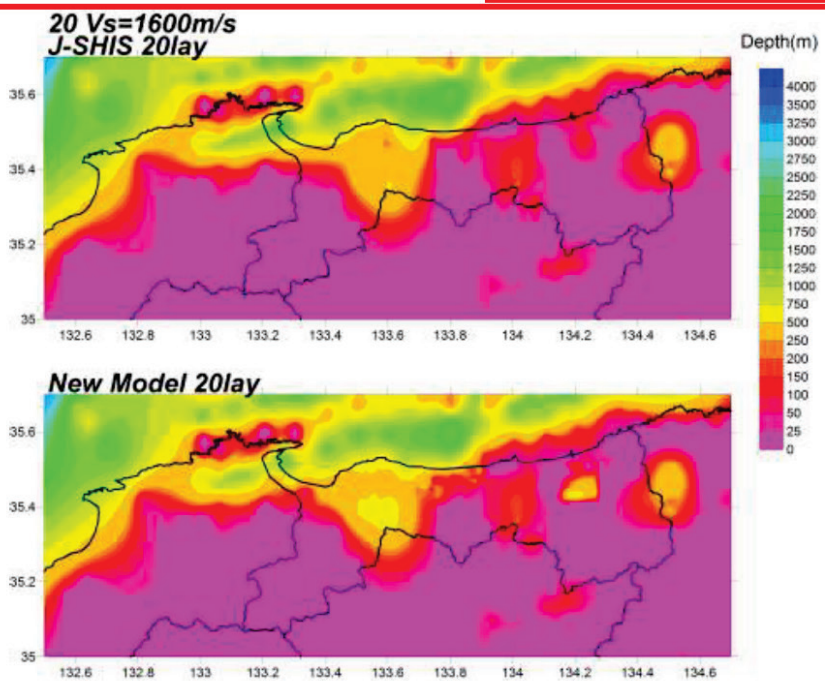


図 5-19　第 20 層 S 波速度 1.6km/s 層上面深度 上：J-SHIS モデル　下：チューニング結果

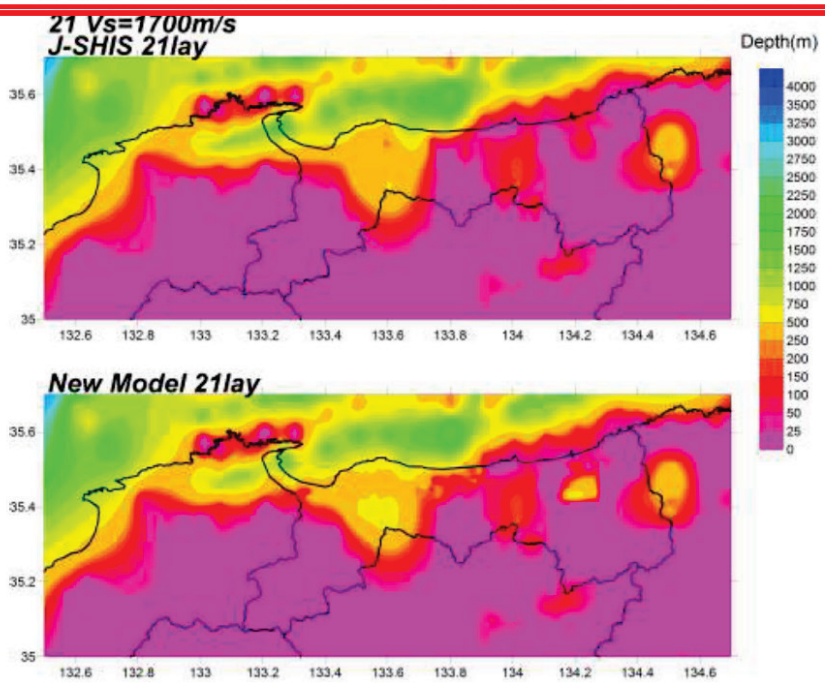
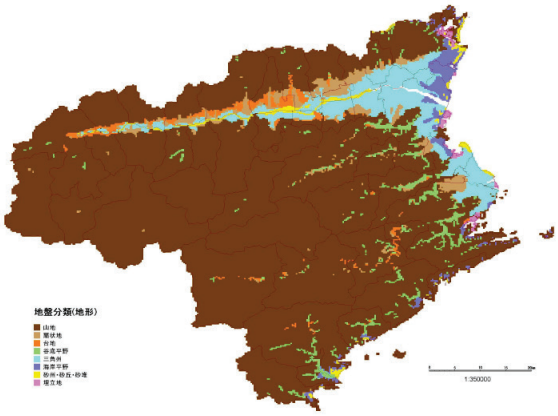


図 5-20　第 21 層 S 波速度 1.7km/s 層上面深度 上：J-SHIS モデル　下：チューニング結果

図 3.2-5　鳥取県地震被害想定調査による地盤モデルの修正例。（鳥取県、2015 より）



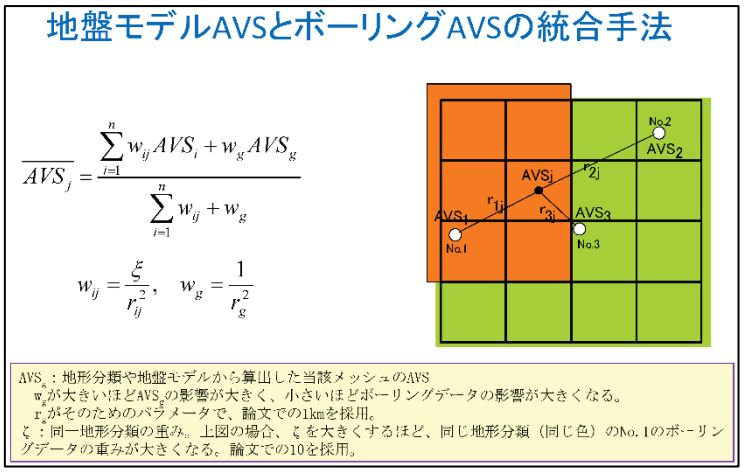


図 3.2-6　徳島県による微地形区分に基づく地盤分類図（上）とボーリングデータを用いた表層 30m 平均 S 波速度（AVS30）モデルの構築手順（下）。（徳島県、2013 より）

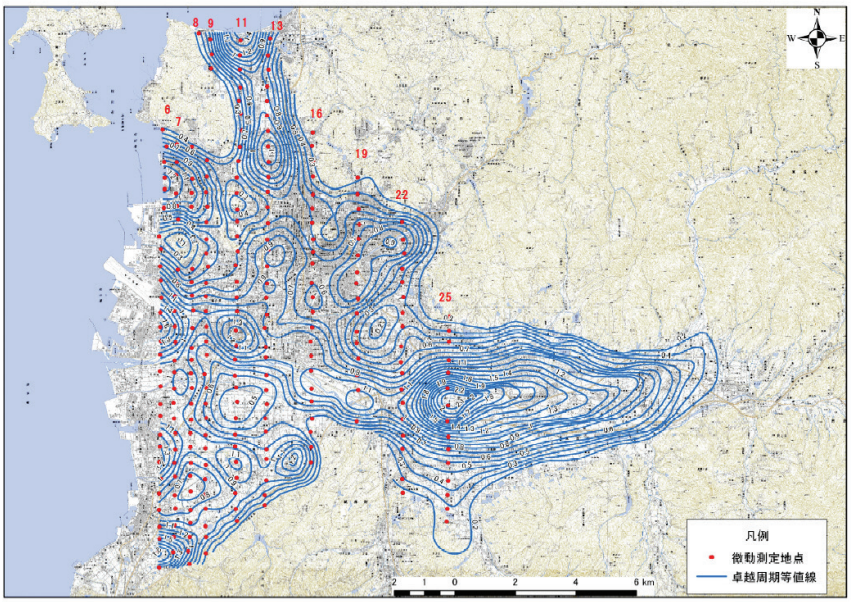


図 2-2-14　松山平野の卓越周期の等値線図

図 3.2-7　愛媛県による微動の卓越周期分布。（愛媛県、2014 より）

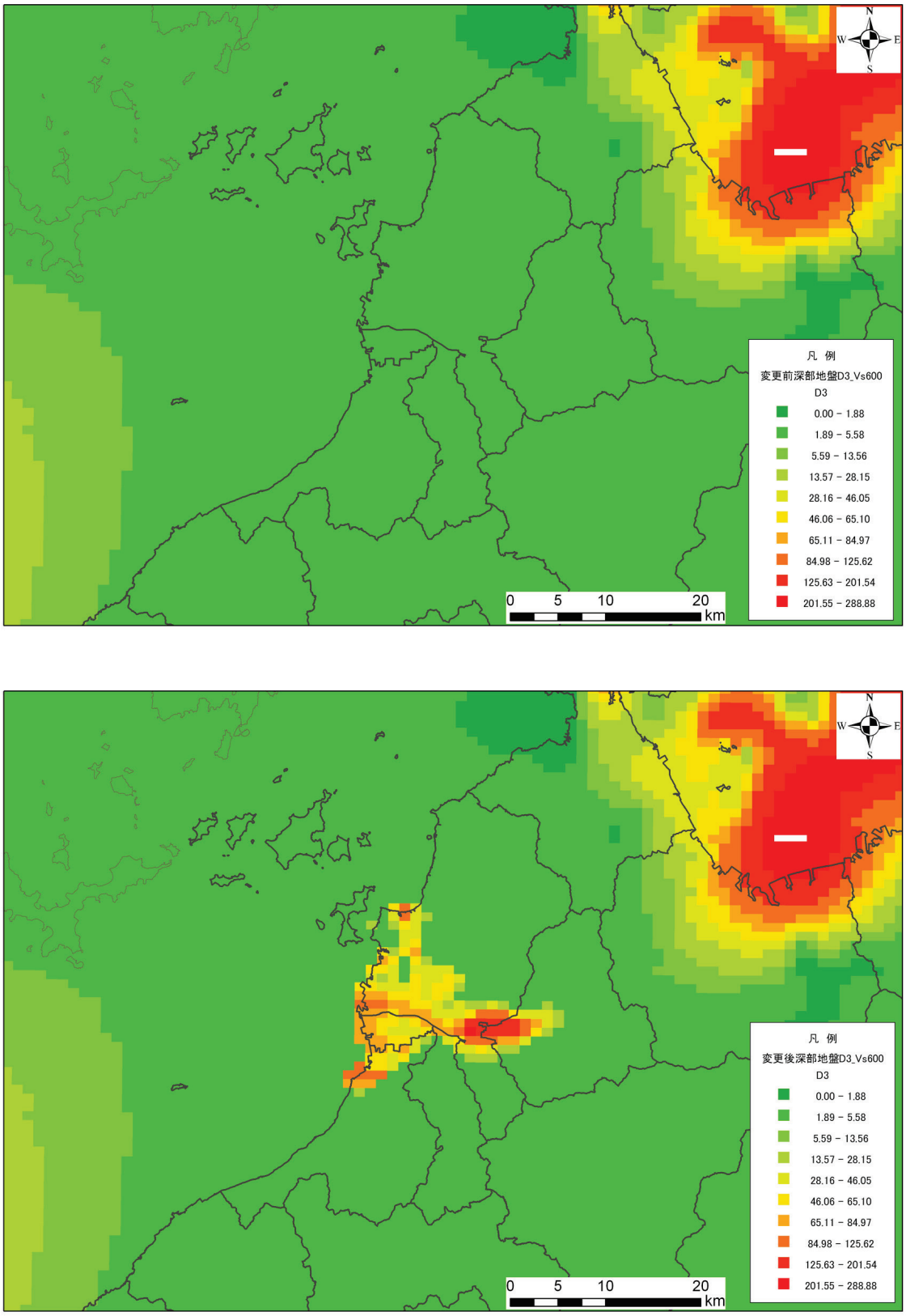
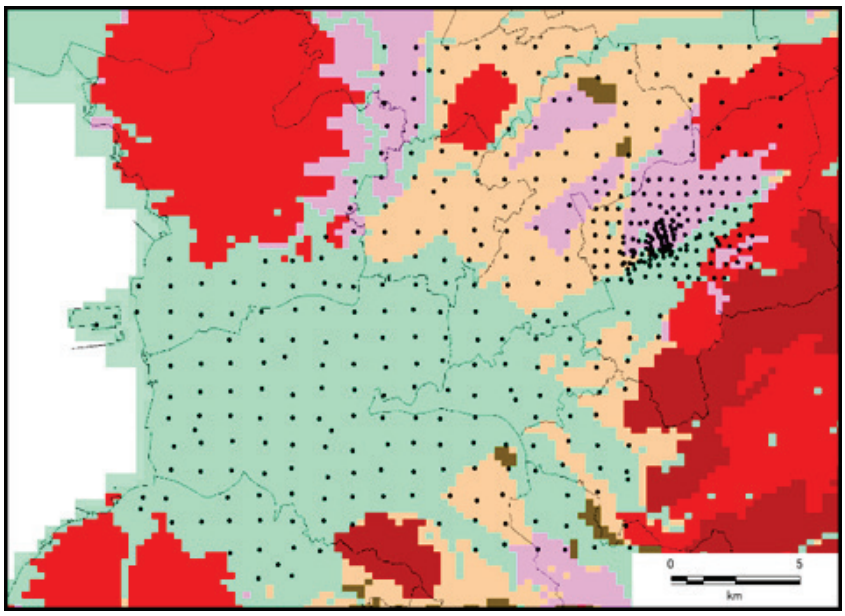


図 3.2-8　愛媛県による Vs600 m/s 層上面深度の修正状況　上図：修正前　下図：修正後



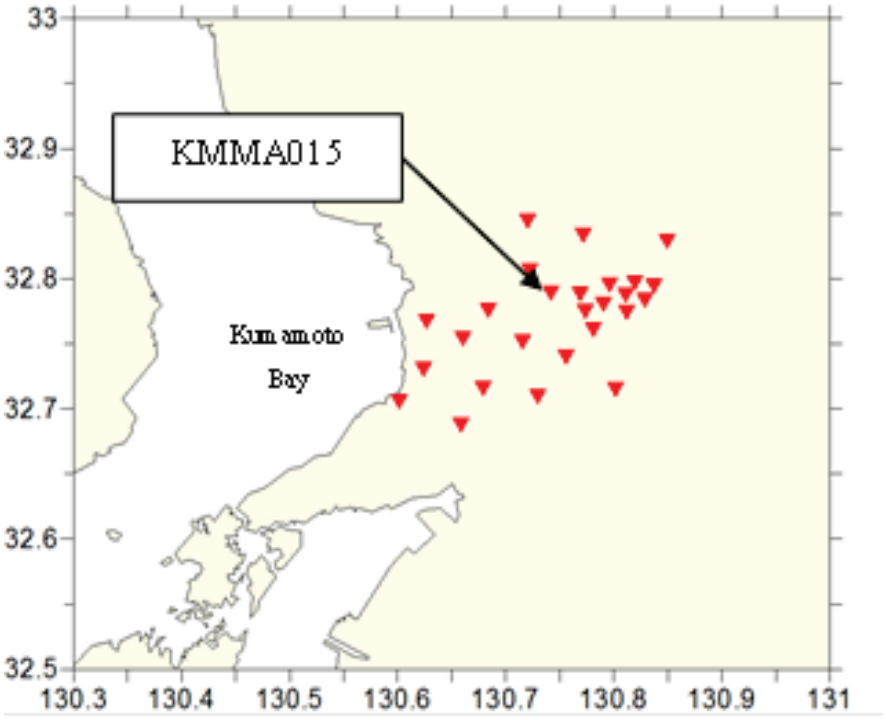


図 3.2-9　Senna et al.(2018) による微動調査位置図

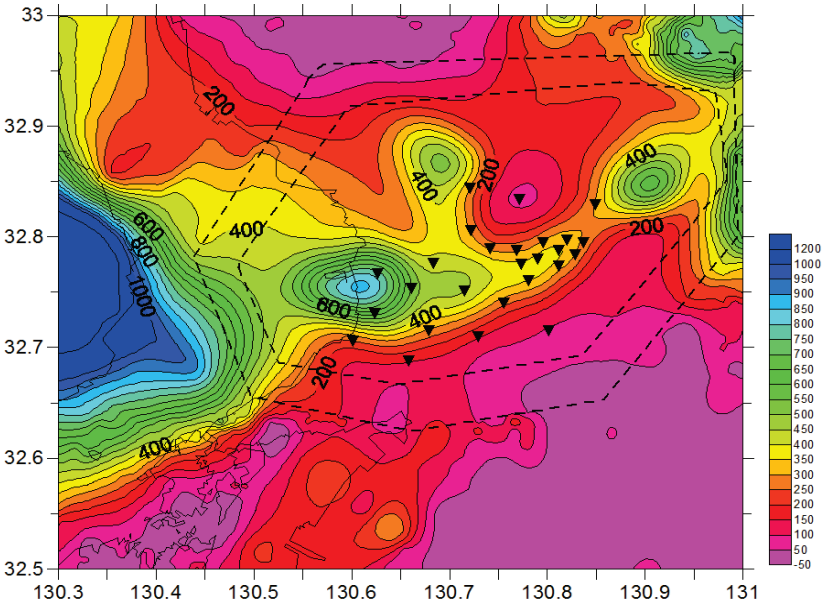


図 3.2-10　Senna et al.(2018) による Vs1200 m/s 層上面深度

2) 地下構造モデルの修正

平成 29 年度「長周期地震動ハザードマップ作成のための基礎調査・モデル作成等」で作成された全国 1 次地下構造モデル（暫定版）の改良地下構造モデル（以下、2018 年度モデルと呼ぶ）に、鳥取県（2015）および Senna et al. (2018) による熊本平野の地盤モデルを取り込むことによる修正を行った。なお、修正の手順はいずれも、2018 年度モデルにおける中央構造線断層帯の重点的調査観測研究により作成された地盤モデルの取り込み（文部科学省・防災科学技術研究所，2018）と同様である。

（1） 鳥取県の地盤モデル

図 3.2-11 にモデルの修正状況を示す。

Vs=0.9 km/s より浅い層には大きな変更がみられない。

2018年度のモデルでは、Vs=1.0 km/sの層が深かったが、鳥取県のモデルでは1.5 km/sの層が深くなっている。

深部地盤モデルには大きな変化がないが、鳥取市の南部に位置する八頭町などで深部構造がやや深く修正されている。

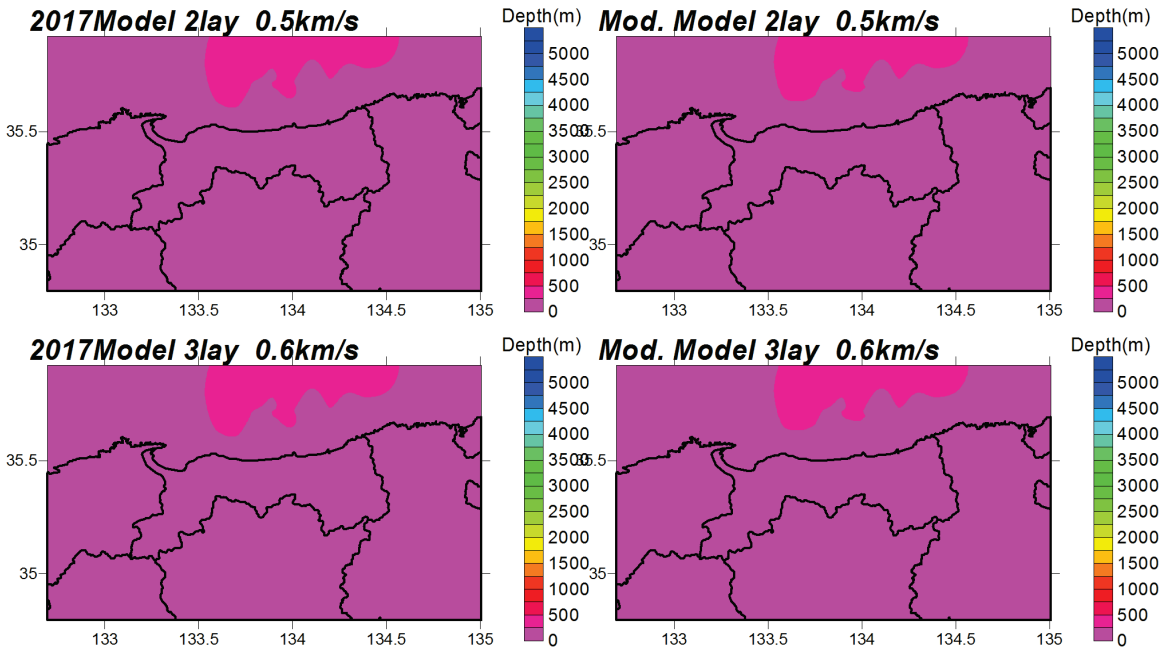


図 3.2-111 鳥取県における地盤モデルの修正状況（1） 左図：修正前 右図：修正後

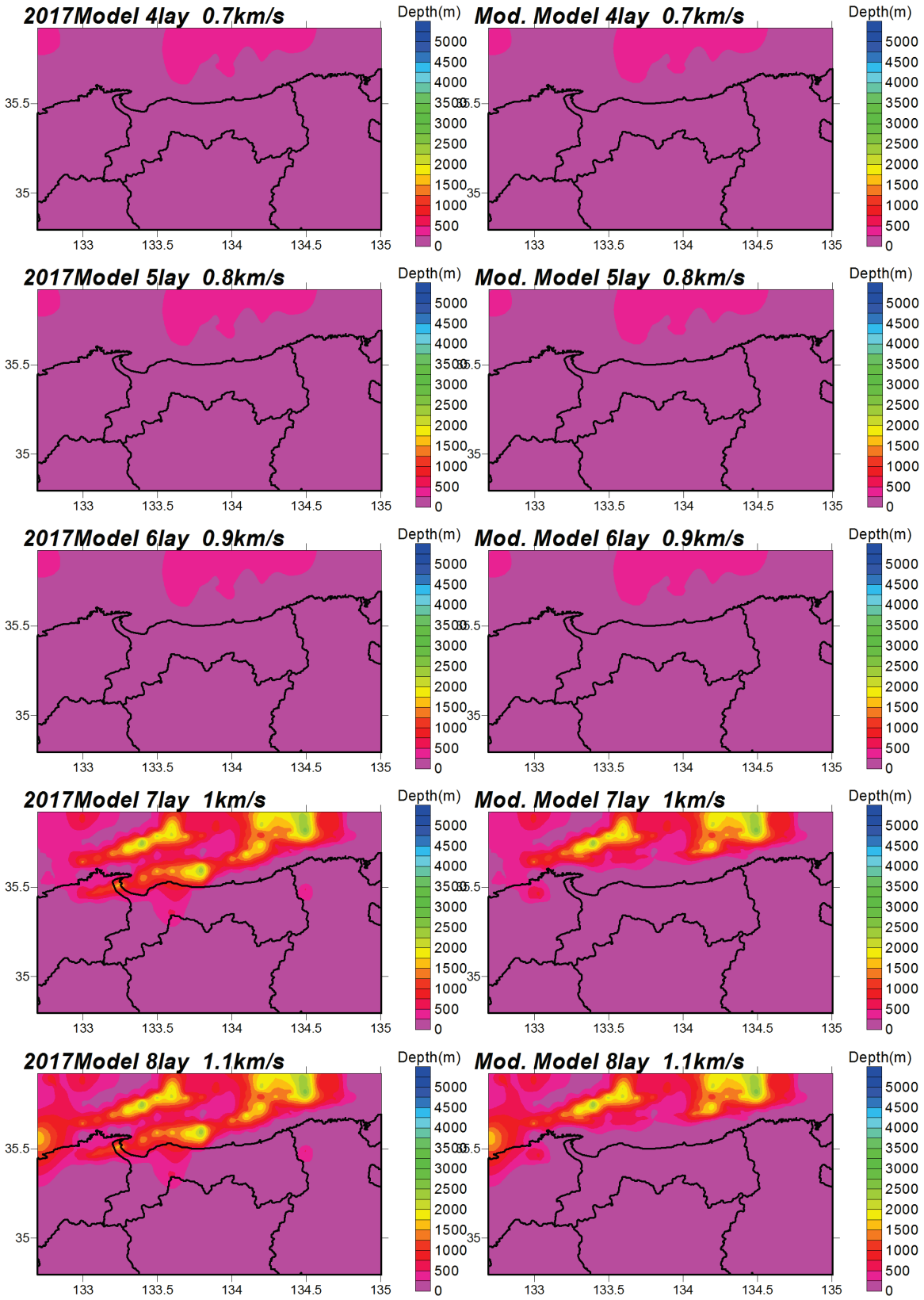


図 3.2-11　鳥取県における地盤モデルの修正状況（２）　左図：修正前　右図：修正後

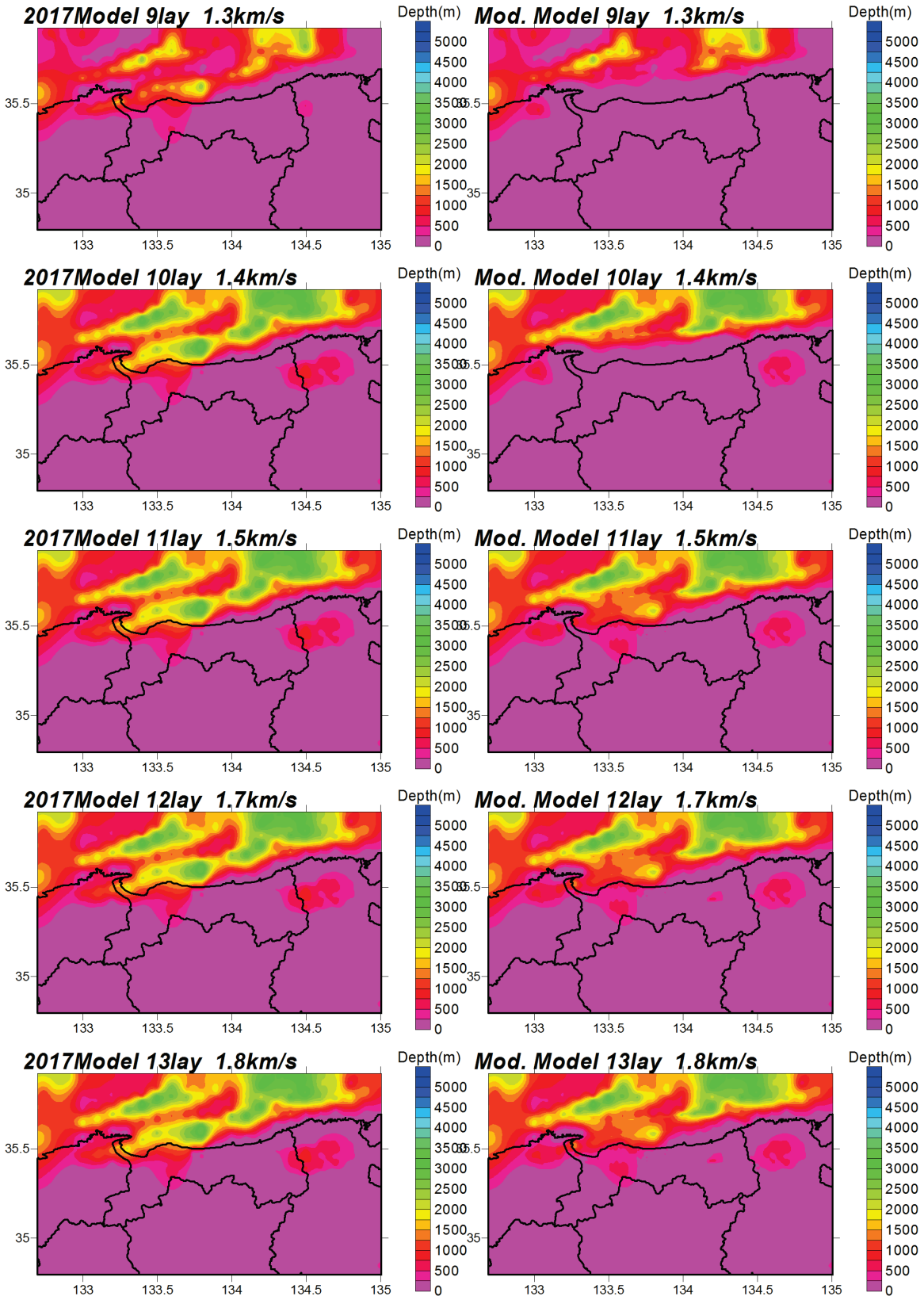


図 3.2-11　鳥取県における地盤モデルの修正状況（３）　左図：修正前　右図：修正後

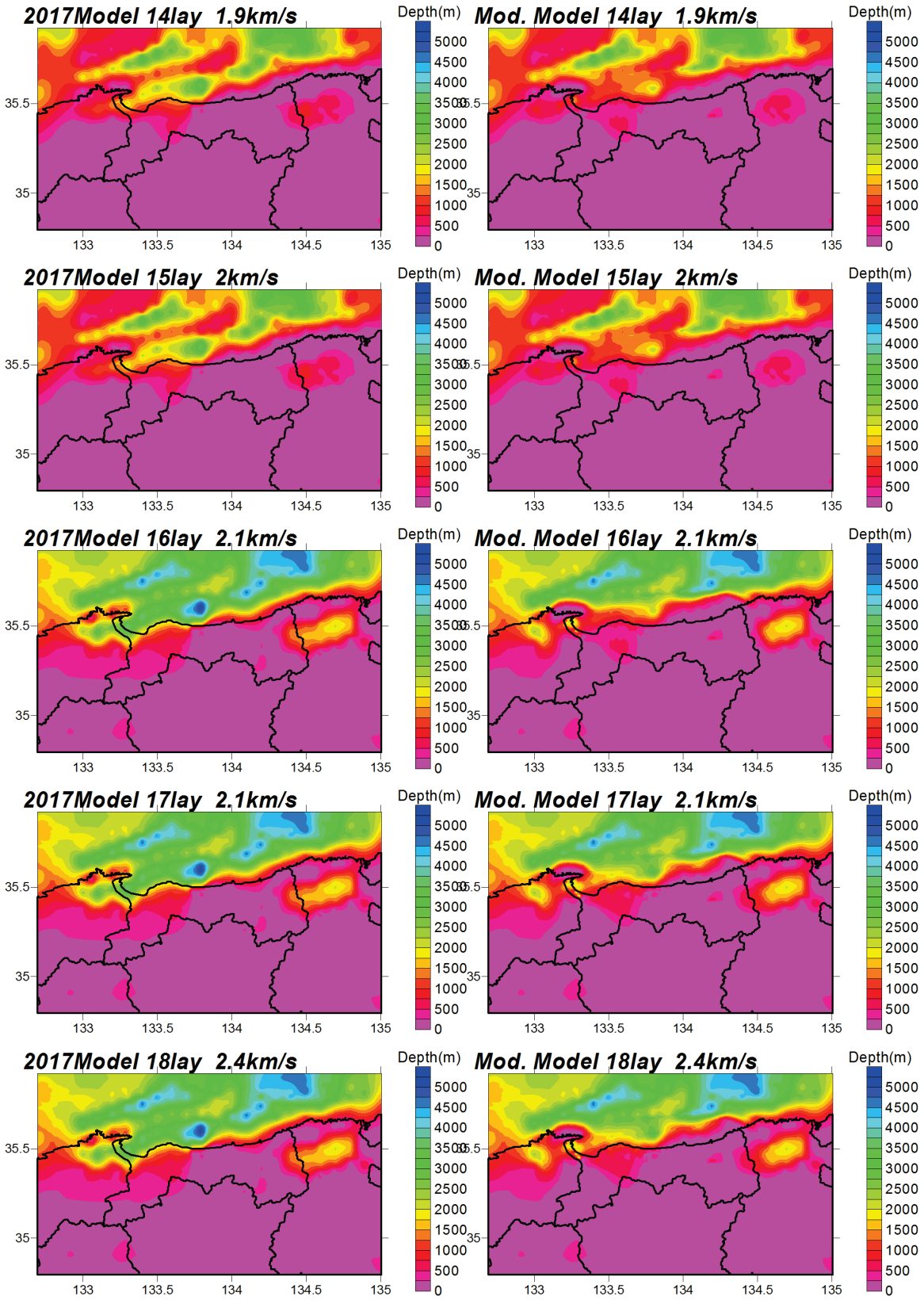


図 3.2-11　鳥取県における地盤モデルの修正状況（４）　左図：修正前　右図：修正後

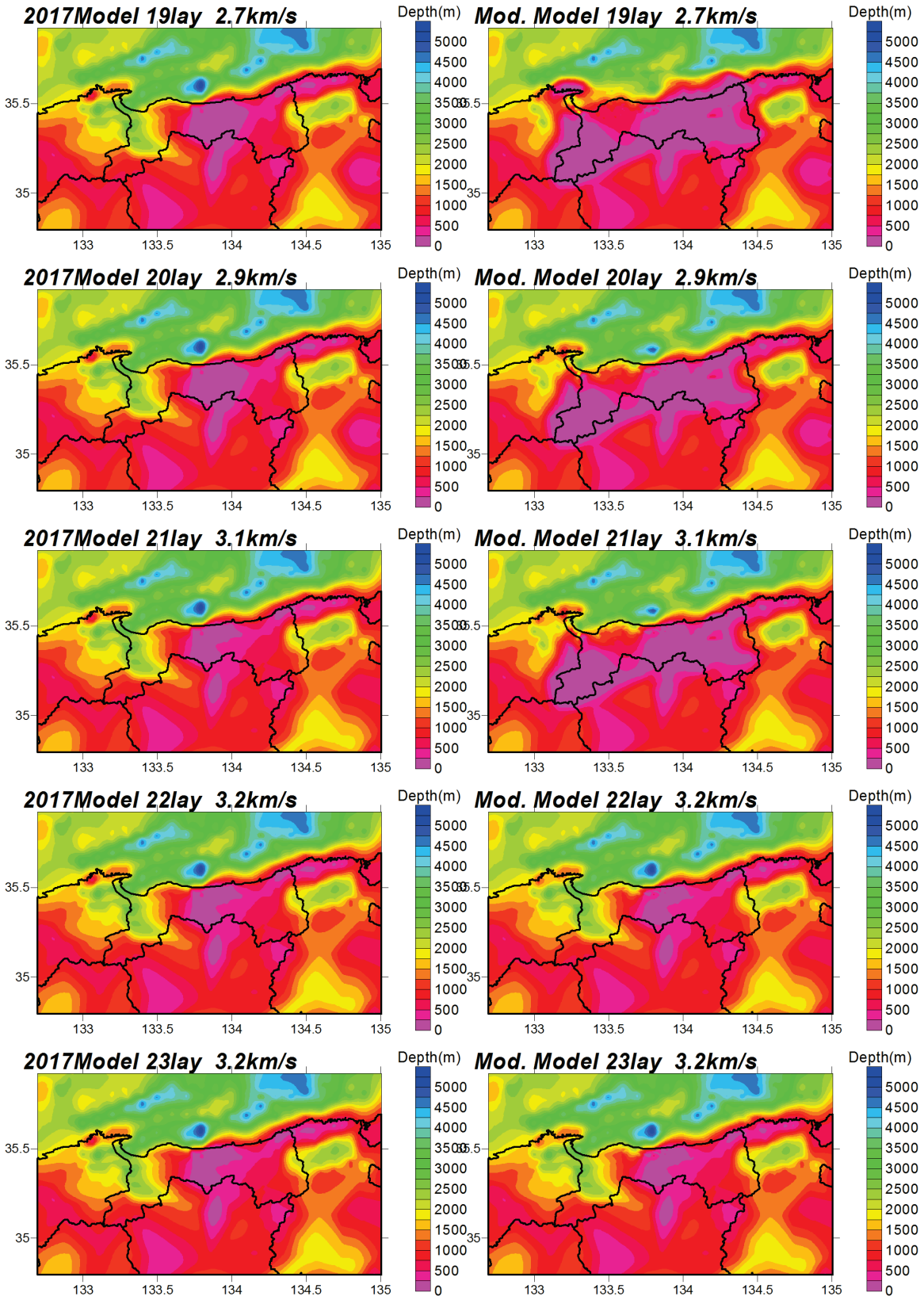


図 3.2-11　鳥取県における地盤モデルの修正状況（５）　左図：修正前　右図：修正後

（２） 熊本平野

図 3.2-12 に熊本平野における地盤モデルの修正状況を示す。

Vs=1.1 km/s 層の形状が熊本平野周辺で修正されている。

Vs=2.1 km/s 層の上面深度の形状も修正されている。

Vs=2.7 km/s 層の形状が熊本平野の海岸部において深く修正されている。

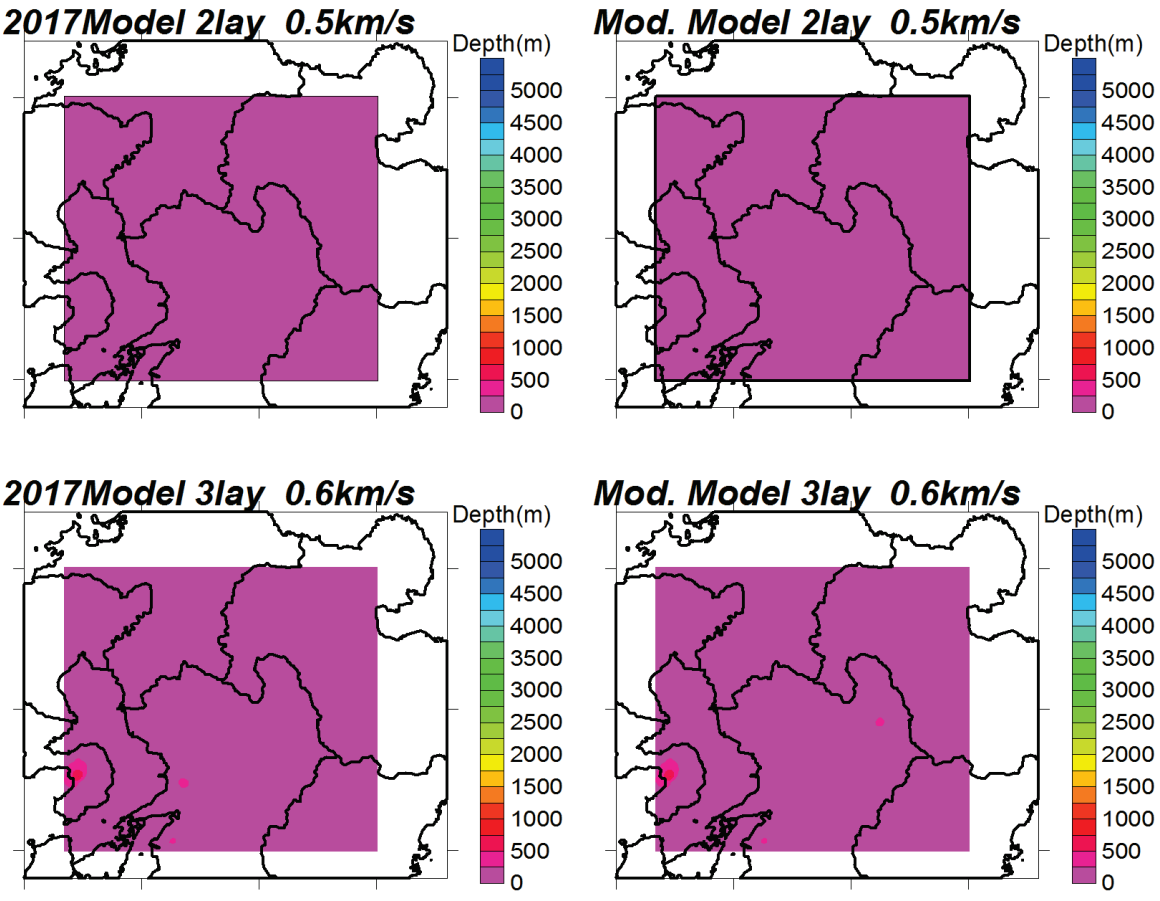


図 3.2-12 熊本平野における修正状況（１） 左図：修正前 右図：修正後

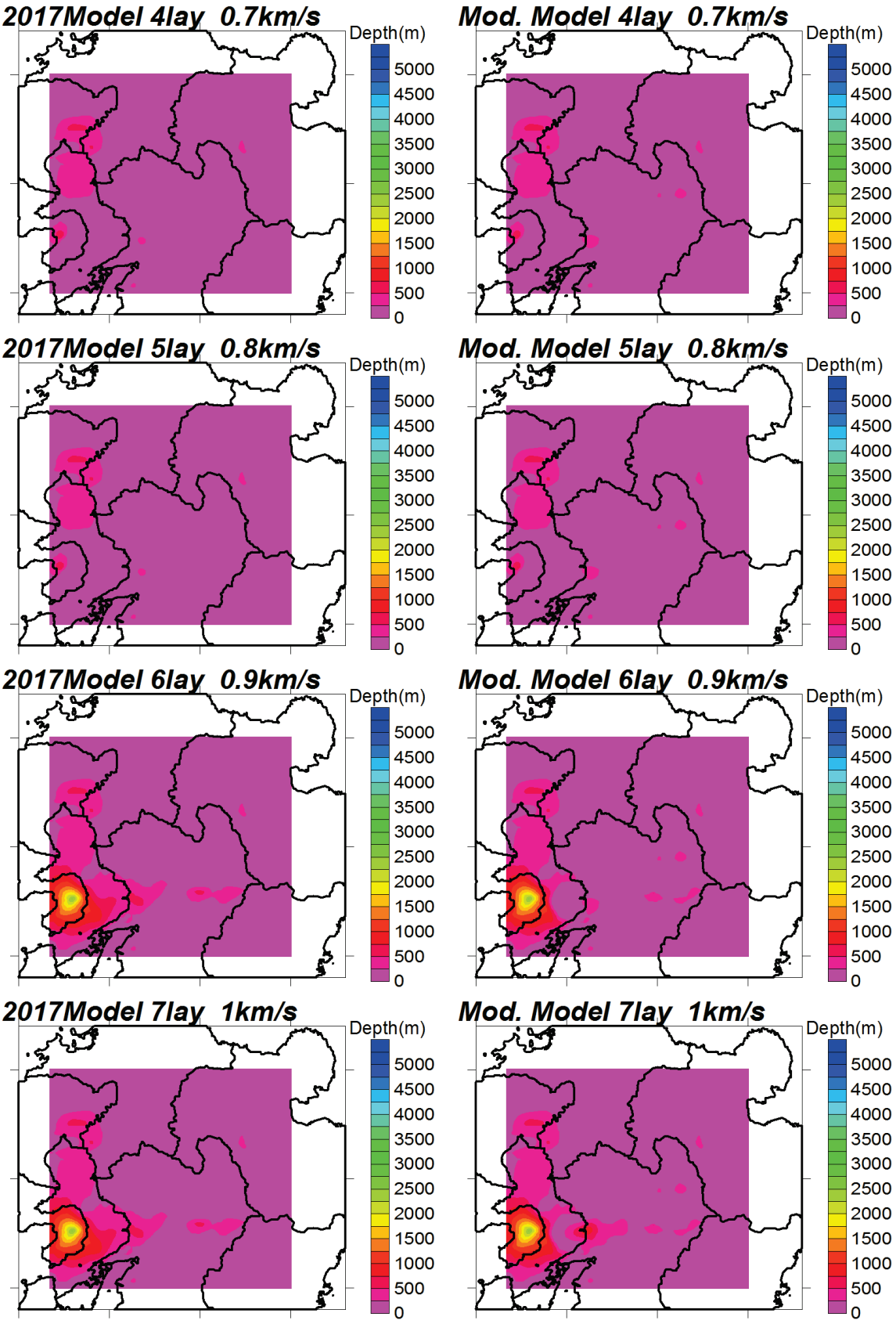


図 3.2-12　熊本平野における修正状況（２）　左図：修正前　右図：修正後

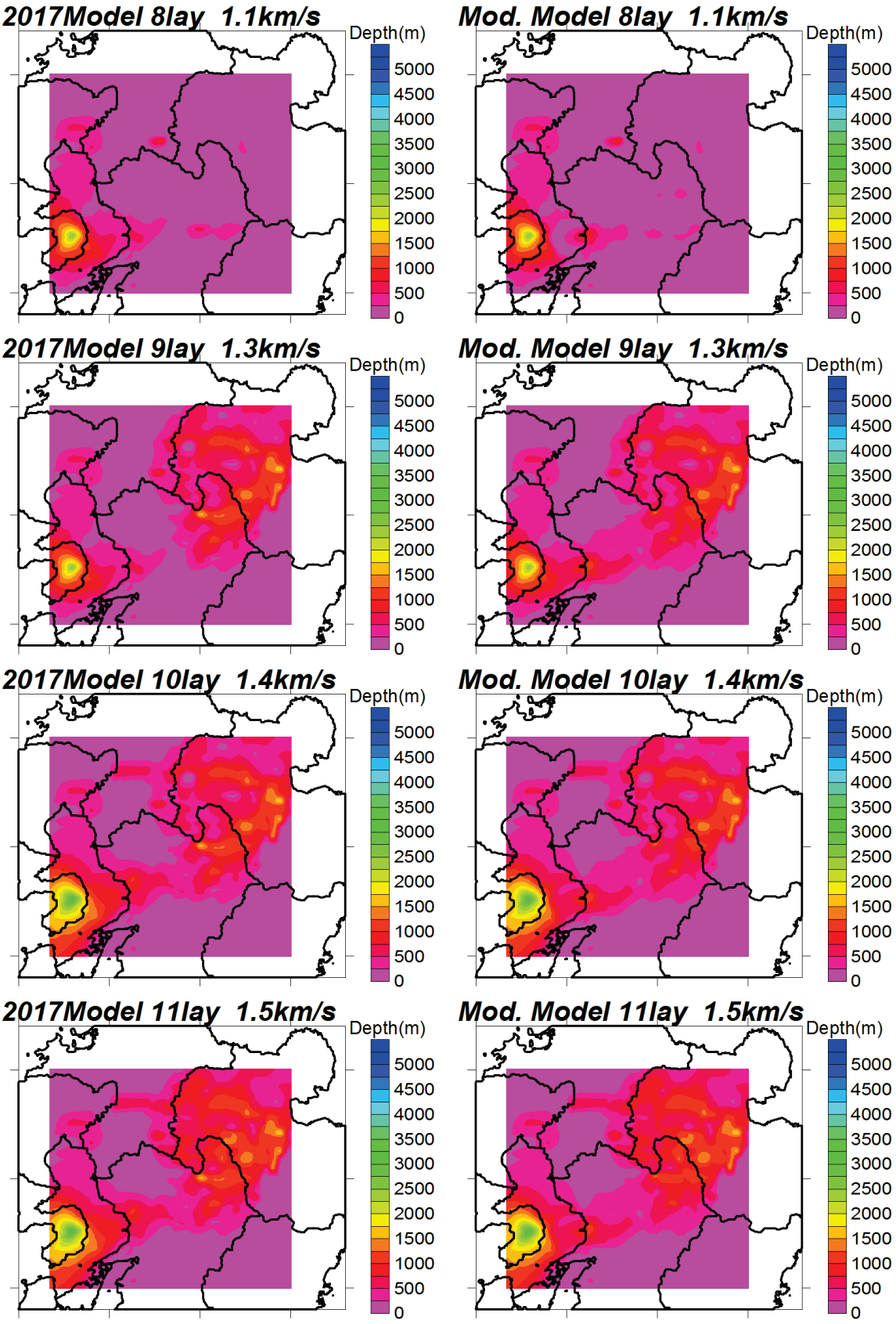


図 3.2-12　熊本平野における修正状況（3）　左図：修正前　右図：修正後

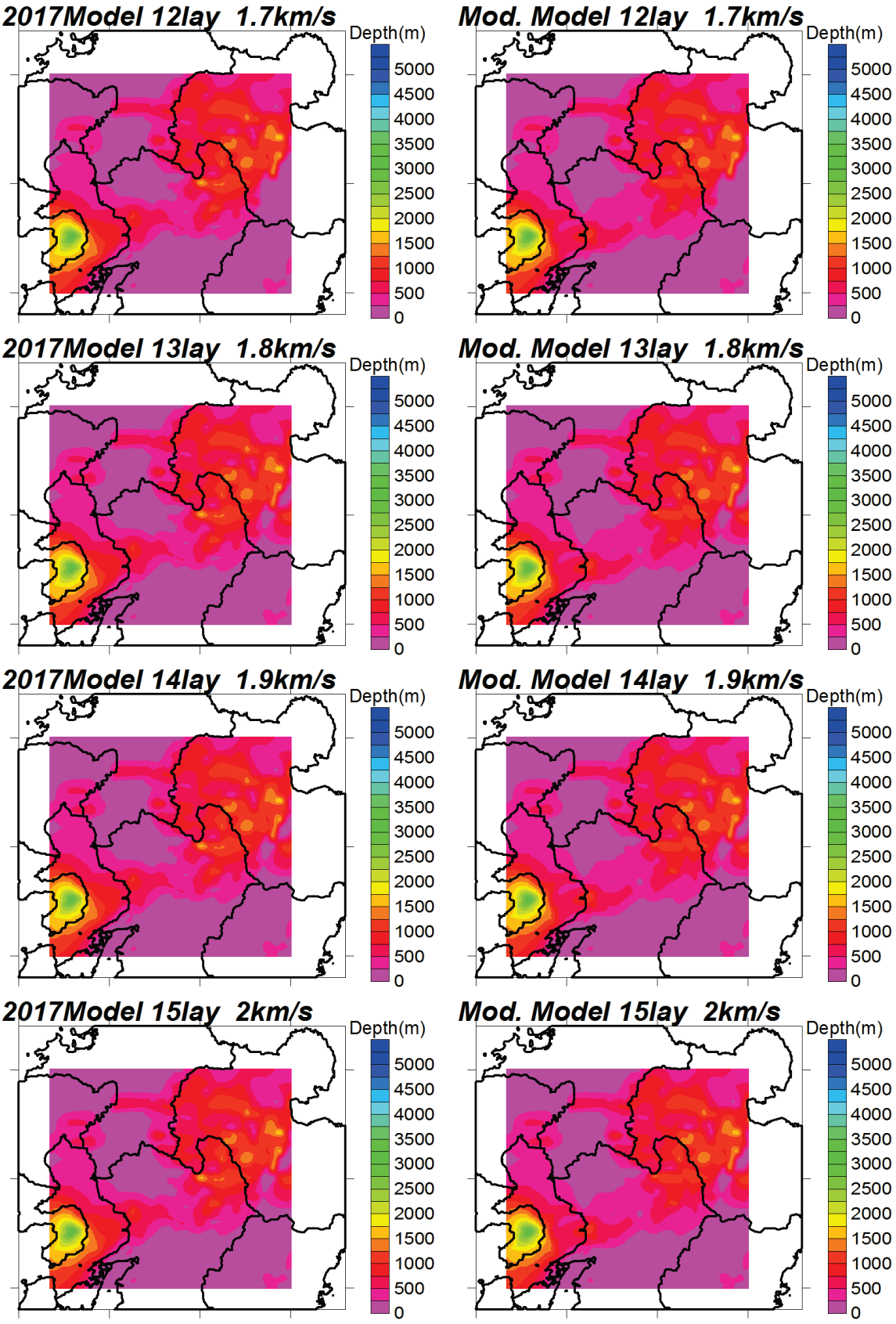


図 3.2-12　熊本平野における修正状況（4）　左図：修正前　右図：修正後

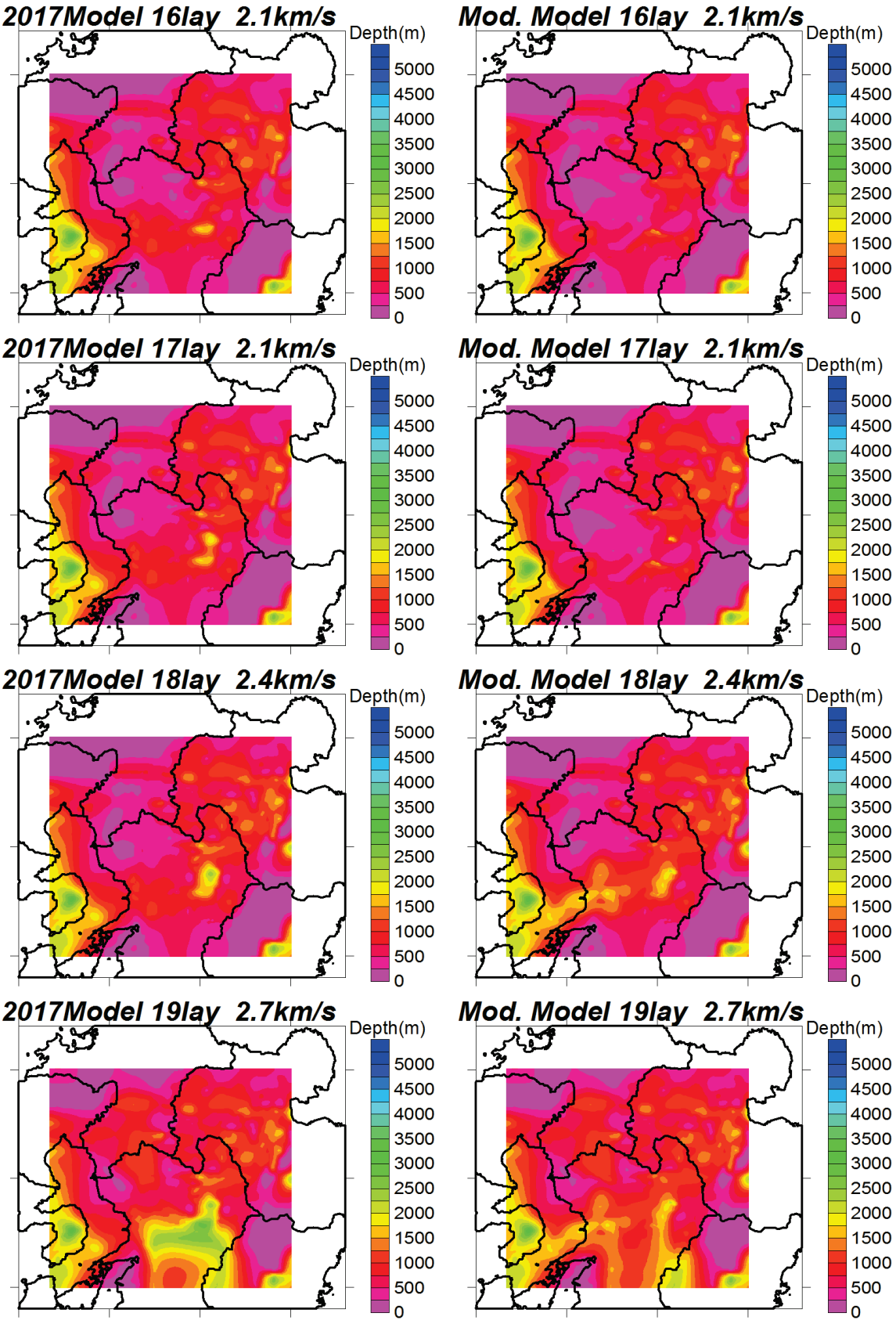


図 3.2-12　熊本平野における修正状況（5）　左図：修正前　右図：修正後

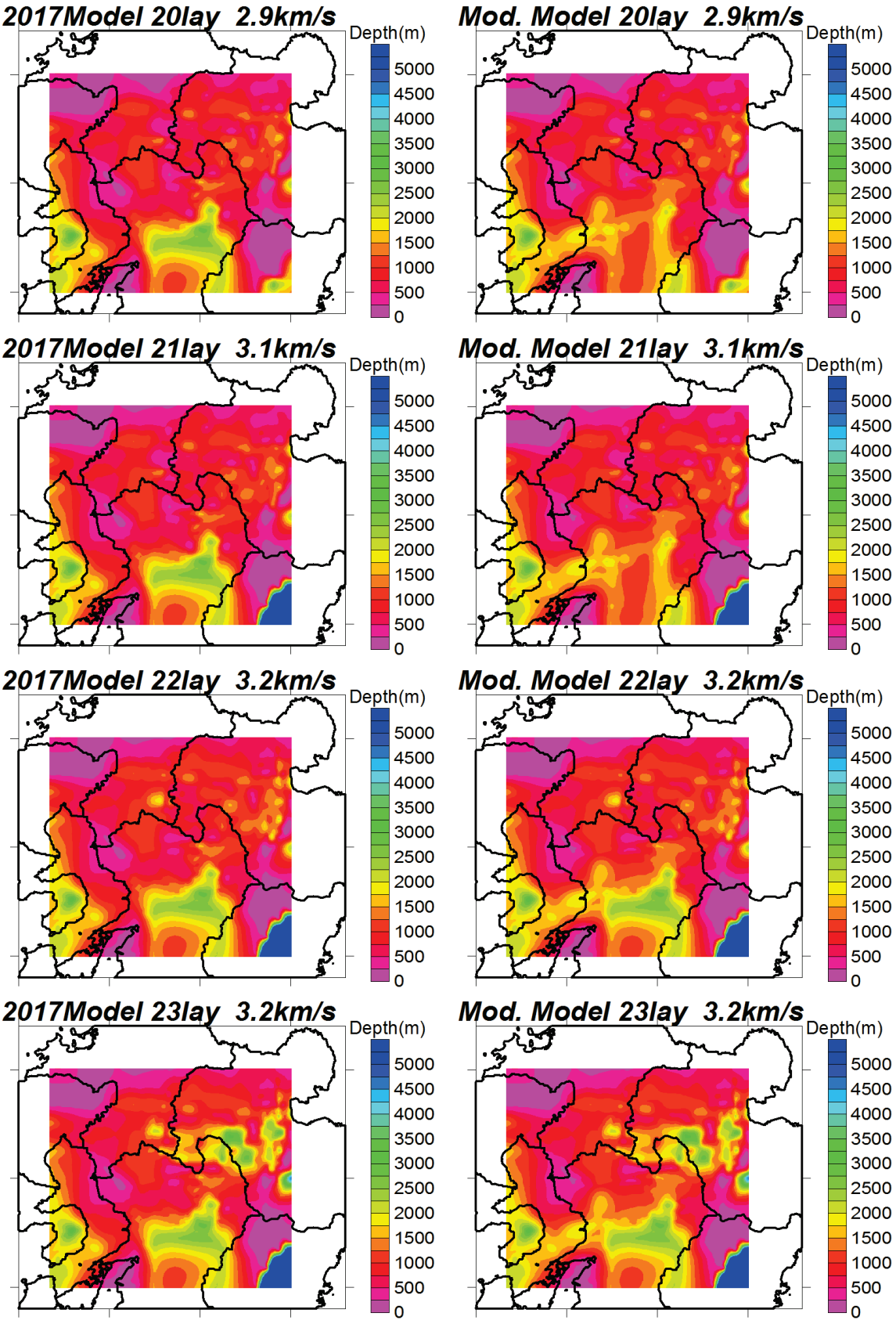


図 3.2-12　熊本平野における修正状況（6）　左図：修正前　右図：修正後

3) 地下構造モデル検証

以下に示す 5 つの地震について 3 次元差分法により長周期地震動（周期 2 秒以上）シミュレーションを実施した。

・2004年7月4日19時7分頃 紀伊半島沖の地震（M7.1）
・2009年8月11日 駿河湾の地震（M6.5）
・2011年8月1日 駿河湾の地震（M6.2）
・2013年4月13日 淡路島付近の地震（M6.3）
・2016年4月1日 三重県南東沖の地震（M6.5）

紀伊半島沖の地震については、EIC地震学ノート（山中、2004）を参照した。駿河湾の地震（M6.5）については、防災科学技術研究所の強震観測網のホームページにおける震源インバージョン解析結果（鈴木・青井、2009）を参照した。2011年8月1日 駿河湾の地震、淡路島付近の地震、2016年4月1日 三重県南東沖については、防災科学技術研究所のF-netメカニズムを参照し、周期0.5秒のリッカー波を入力した。

表3.2-1に2004年7月4日19時7分頃 紀伊半島沖の地震差分法計算の緒元を示す。図3.2-13に計算範囲を示す。

表3.2-2に2009年8月11日および2011年8月1日の 駿河湾の地震の計算緒元を、図3.2-14に計算範囲を示す。

表3.2-3に2013年4月13日 淡路島付近の地震の計算緒元を、図3.2-15に計算範囲を示す。

表3.2-4に2016年4月1日 三重県南東沖の地震の計算緒元を、図3.2-16に計算範囲を示す。

ただし、これらの地震動シミュレーションにおいて今回地下構造モデルの修正を行うことができた範囲（鳥取県および熊本県）がほとんど含まれない。そのため、ここでは2017年モデルの改良前のモデル（2016年モデルと呼ぶ）との比較も示す。

（1）2004年7月4日19時7分頃　紀伊半島沖の地震（M7.1）

図 3.2-17に2018年モデルにおける差分法計算最大速度と観測最大速度の比較を示す。周期ごとのに最大値を計算して示している。図3.2-18には2016年モデルの結果を示す。

2018年モデルではやや過大評価になっていることが特徴である。

図 3.2-19、図 3.2-20に観測速度波形との比較を示す。2018年モデルは対象地域では大きな変更がないため波形はほぼ同じ形状を示している。全体的に2016年モデルに比べ後続位相が大きくなっている。名古屋、大阪ではやや過大評価である。浜岡や辰巳では、後続位相の出現の仕方は2018年モデルの方が観測波形をよく説明できている。

（2）2009年8月11日 駿河湾の地震（M6.5）

図3.2-21、図3.2-22に最大速度の比較を示す。本地震の計算では2016年モデルの結果が過大評価であった。

図3.2-23、図3.2-24に速度波形の比較を示す。

名古屋では、2016年モデルが過大評価である。彦根でも同様の結果であった。先に示した、紀伊半島沖の地震では2016年モデルの方が過小評価であった。地盤モデルの検討に加え、震源モデルの検討も必要であると考えられる。

周期2秒程度において、2016年モデルの辰巳では概ね整合的であるが、東金では過大評価である。逆に2018年モデルでは、周期2秒程度は辰巳では過小評価であるが、東金では整合的な結果となっている。

（3）2011年8月1日 駿河湾の地震（M6.2）

図3.2-25、図3.2-26に最大速度の比較を示す。2018年モデルは観測データをよく説明できている。周期10-8秒、8-6秒では過小評価であるが、観測波形にノイズ成分が多く含まれているためと考えられる。2016年モデルでは過大評価である。

図3.2-27、図3.2-28に速度波形の比較を示す。

速度波形の比較では、2016年モデルの名古屋、辰巳、東金では過大評価である。

2018年モデルでは、やや過小評価気味であるが、観測データをよく説明できている。

（4）2013年4月13日 淡路島付近の地震（M6.3）

図3.2-29、図3.2-30および図3.2-31に最大速度の比較を示す。どの地盤モデルでも過大評価である地点が多い。

図3.2-32、図3.2-33に速度波形の比較を示す。名古屋では3秒付近の振幅が過小評価である。米子地点では、地盤モデルの改良により観測波形がよい対応を示している。

（5）2016年4月1日 三重県南東沖の地震（M6.5）

図3.2-34、図3.2-35に最大速度の比較を示す。観測データの長周期側にノイズ成分が大きいことを考慮しても、再現計算の結果が過小評価であると考えられる。

図3.2-36、図3.2-37に速度波形の比較を示す。大阪、和歌山では周期2秒程度の波が過小評価である。図3.2-37に示した三原、高知でも過小評価である。

本地震の再現計算では、中心周期0.5秒のベル型の震源時間関数という単純なモデルを用いて行ったが、実際の震源破壊過程はより複雑であったと考えられ、波形の再現性が低い結果となった。再現性向上には、震源をより詳細にモデル化する必要がある。

図3.2-38には、AIC004（名古屋）地点の地震動のR/Vスペクトルと地盤モデルによるレイリー波のH/Vスペクトルの比較を示す。また、S波増幅特性も併せて示す。これによると、周期3～4秒付近にピークを有する地盤モデルであり、計算波形が過小評価気味である原因としては、観測点周辺の構造の影響や震源モデルの影響が考えられる。なお、この点に関して、戦略的イノベーションプログラム（SIP）において東海地域の詳細な地下構造モデルの検討が現在進められていることから、今後モデルが改良される可能性もある。

表 3.2-1　2004年7月4日19時7分頃 紀伊半島沖の地震の差分法の緒元

グリッドサイズ(m)	200	
経度方向距離(km)	560	グリッド数2800
緯度方向距離(km)	410	グリッド数2050
深度方向 グリッドサイズ(m)	200 400 800 1200	深さ0 km～2 km 深さ2km～10 km 深さ10km～26 km 深さ26km～62 km
計算間隔(秒)	0.0100	
ステップ数	50,000	計算時間 500 (s)

表 3.2-2　2009年8月11日および2011年8月1日 駿河湾の地震の差分法の緒元

グリッドサイズ(m)	200	
経度方向距離(km)	440	グリッド数2200
緯度方向距離(km)	200	グリッド数1000
深度方向 グリッドサイズ(m)	200 400 800 1200	深さ0 km～2 km 深さ2km～10 km 深さ10km～26 km 深さ26km～62 km
計算間隔(秒)	0.0100	
ステップ数	20,000	計算時間 200 (s)

表 3.2-3　2013年4月13日 淡路島付近の地震の差分法の緒元

グリッドサイズ(m)	200	
経度方向距離(km)	480	グリッド数2400
緯度方向距離(km)	270	グリッド数1350
深度方向 グリッドサイズ(m)	200 400 800 1200	深さ0 km～2 km 深さ2km～10 km 深さ10km～26 km 深さ26km～26 km
計算間隔(秒)	0.0100	
ステップ数	10,000	計算時間 100 (s)

表 3.2-4　2016年4月1日 三重県南東沖の地震の差分法の緒元

グリッドサイズ(m)	200	
経度方向距離(km)	380	グリッド数1900
緯度方向距離(km)	220	グリッド数1100
深度方向 グリッドサイズ(m)	200 400 800 1200	深さ0 km～2 km 深さ2km～10 km 深さ10km～26 km 深さ26km～50 km
計算間隔(秒)	0.0100	
ステップ数	15,000	計算時間 150 (s)

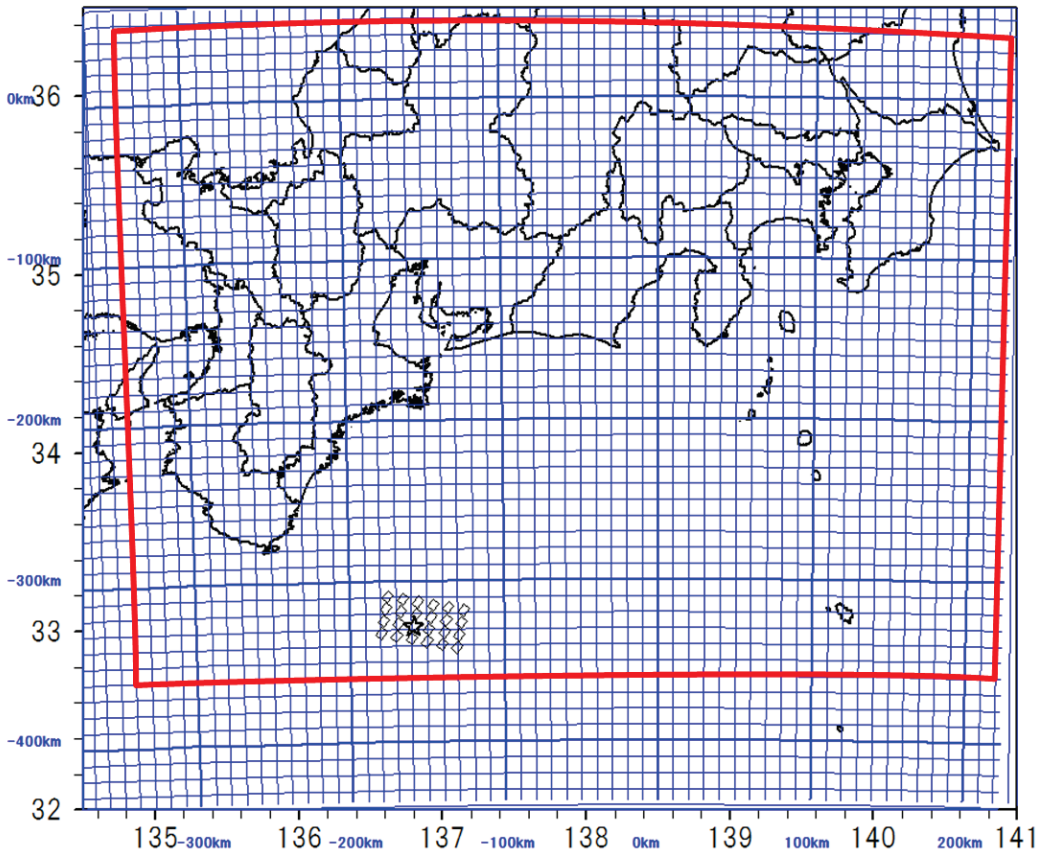


図 3.2-13　　2004年7月4日19時7分頃 紀伊半島沖の地震の計算範囲

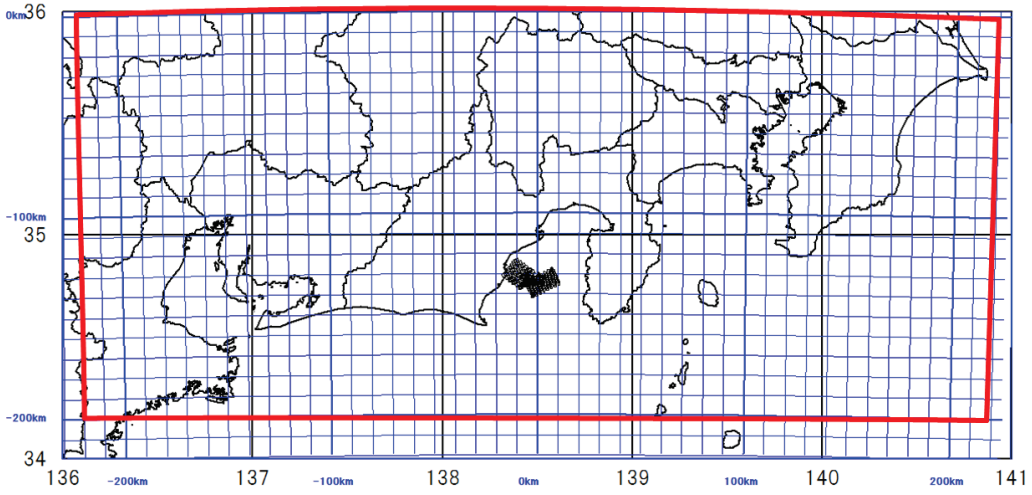


図 3.2-14　　2009年8月11日および2011年8月1日 駿河湾の地震の計算範囲

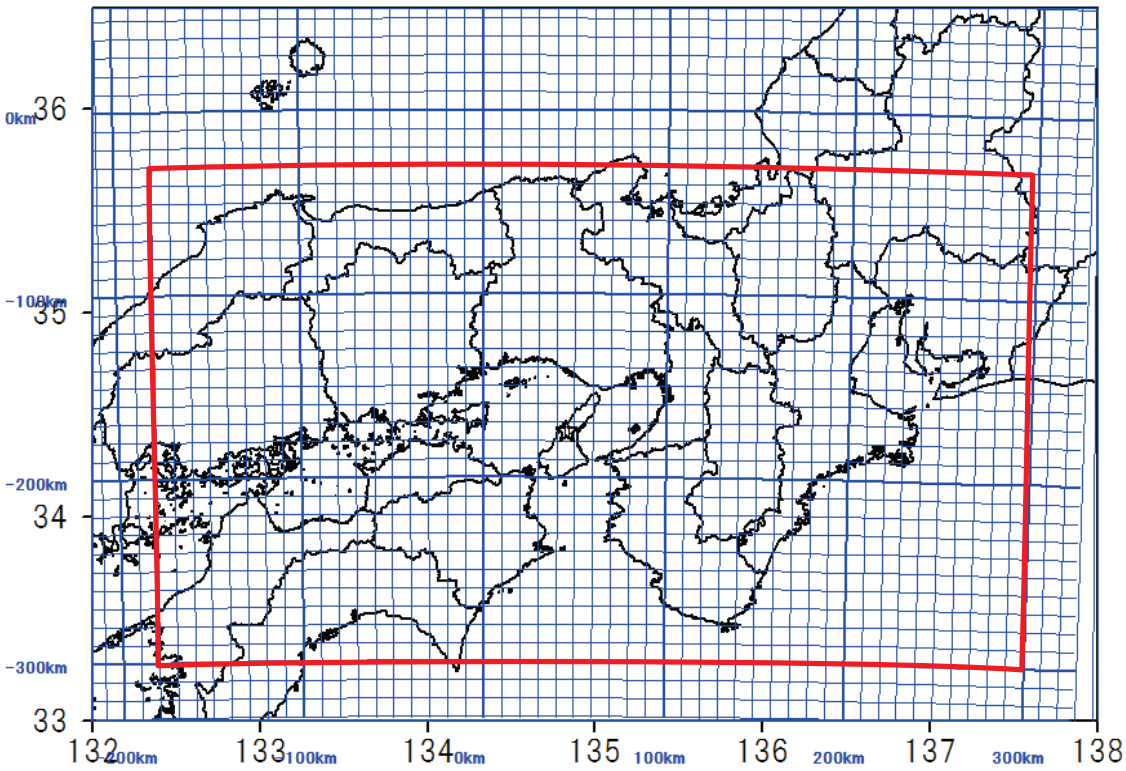


図 3.2-15　　2013年4月13日 淡路島付近の地震の計算範囲

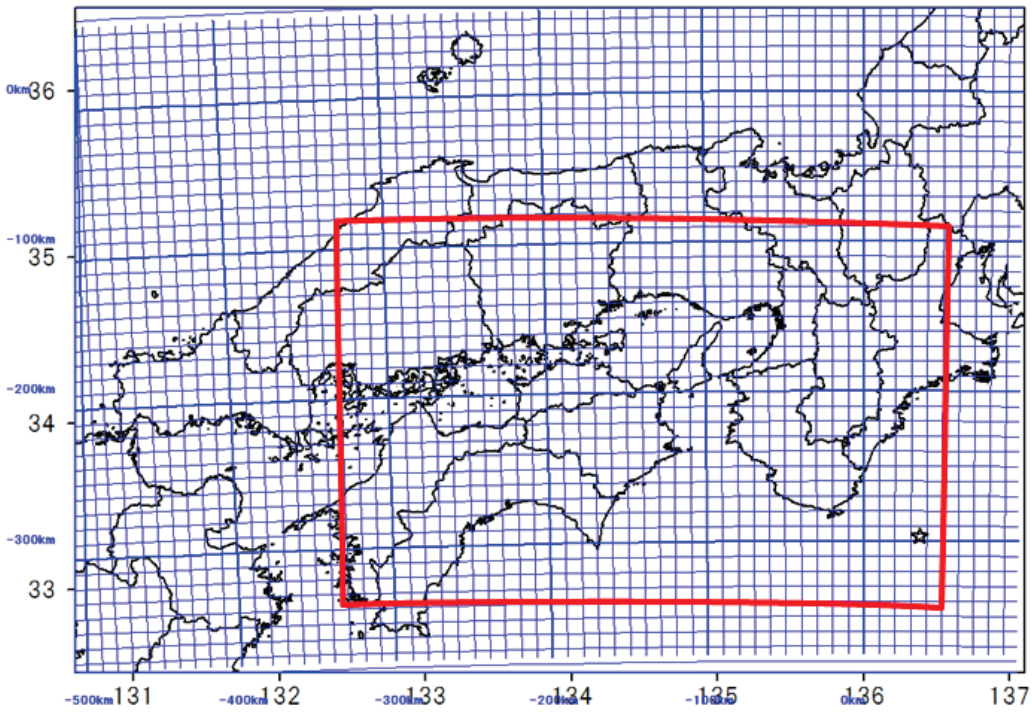


図 3.2-16　　2016年4月1日 三重県南東沖の地震の計算範囲

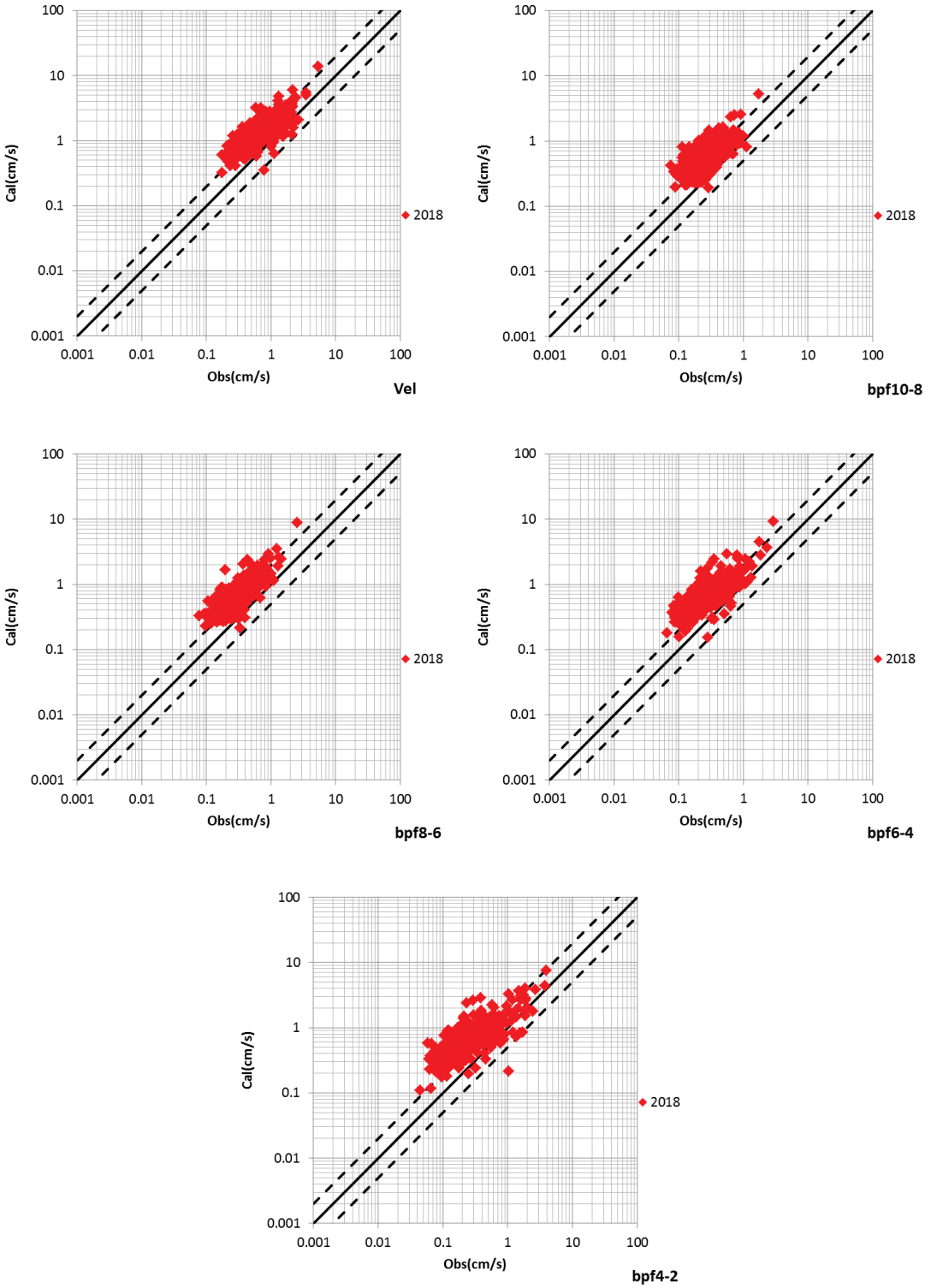


図 3.2-17　　2004 年 7 月 4 日 19 時 7 分頃 紀伊半島沖の地震　最大速度の比較

2018 年モデル　横軸：観測　縦軸：計算

Vel：周期 2 秒以上の最大速度　bpf10-8：周期 10~8 秒の最大速度

bpf8-6：周期 8~6 秒の最大速度　bpf6-4：周期 6~4 秒の最大速度

bpf4-2：周期 4~2 秒の最大速度

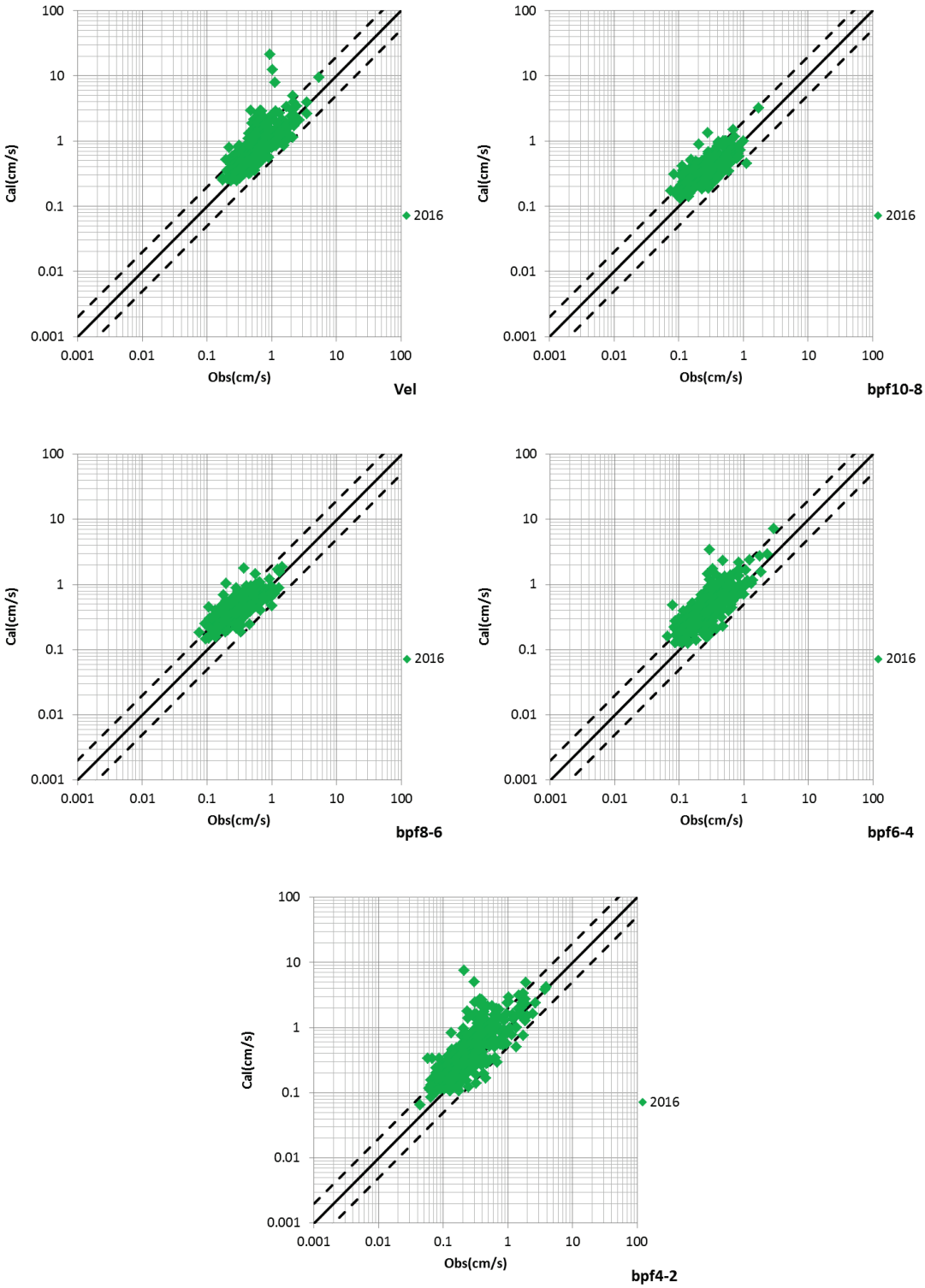


図 3.2-18　　2004 年 7 月 4 日 19 時 7 分頃 紀伊半島沖の地震　最大速度の比較

2016 年モデル　横軸：観測　縦軸：計算

Vel：周期 2 秒以上の最大速度　bpf10-8：周期 10~8 秒の最大速度

bpf8-6：周期 8~6 秒の最大速度　bpf6-4：周期 6~4 秒の最大速度

bpf4-2：周期 4~2 秒の最大速度

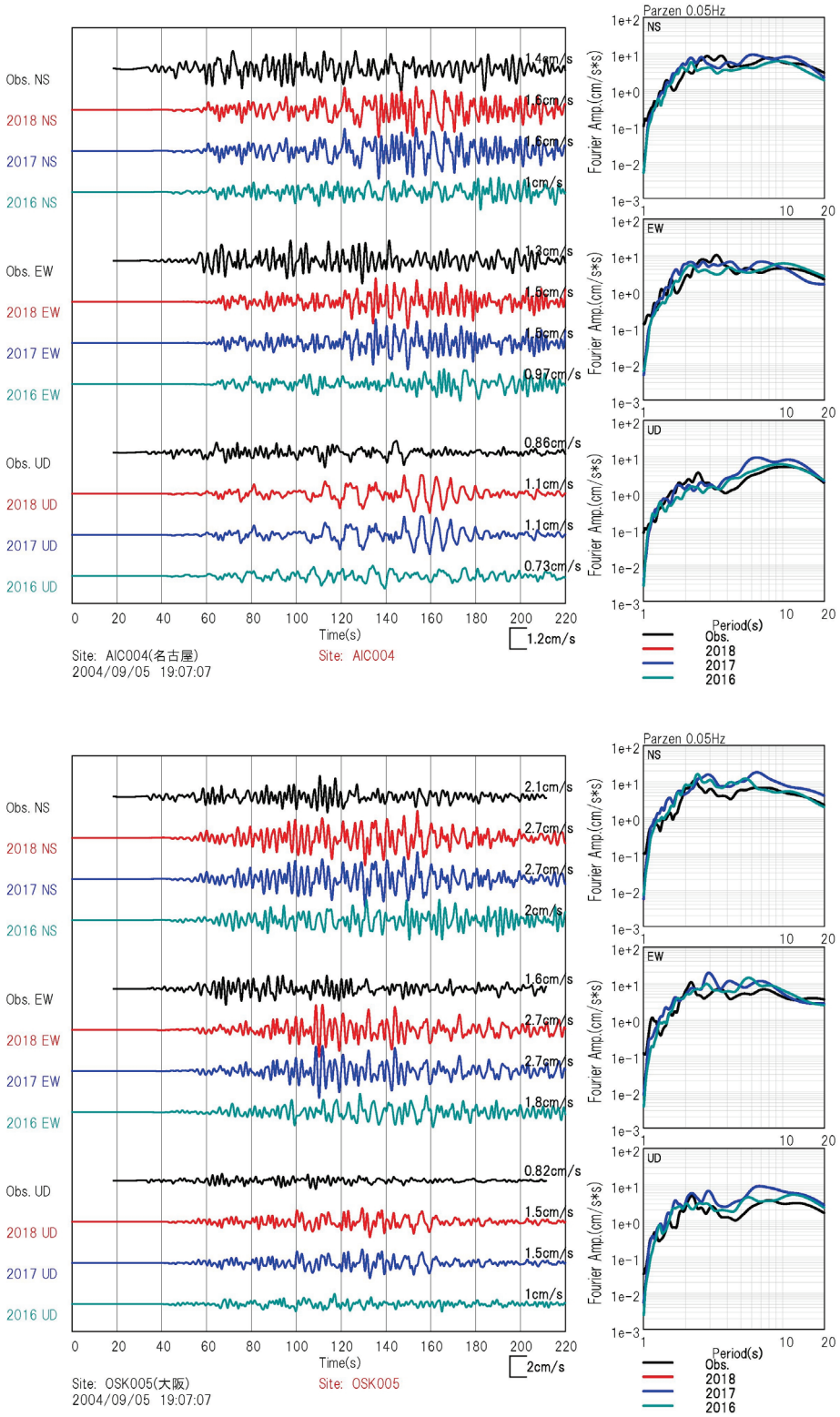
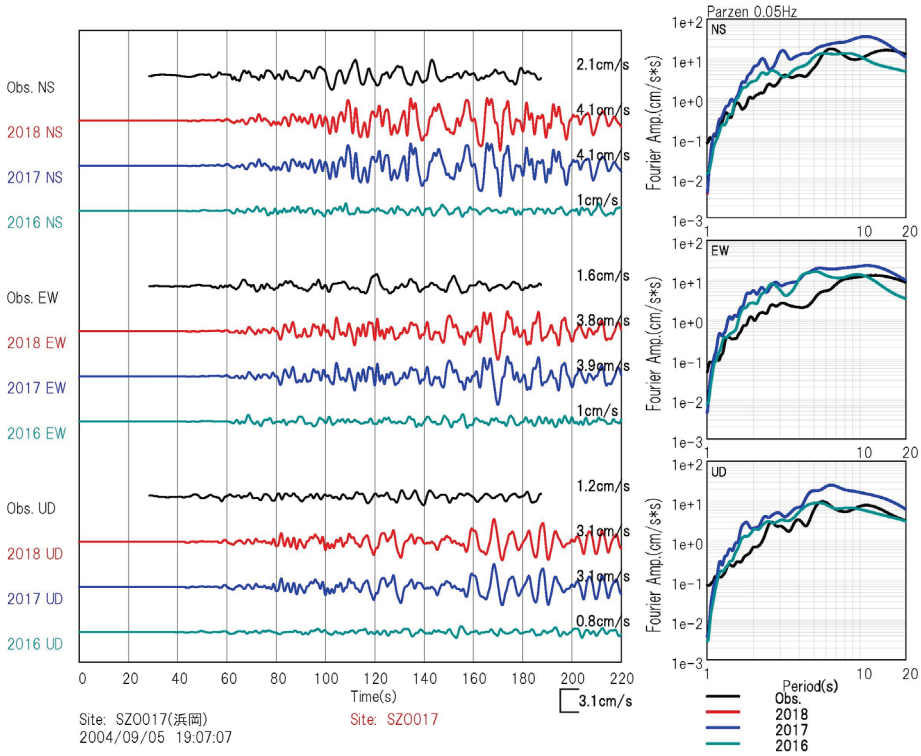


図 3.2-19　観測速度波形との比較　2004 年 7 月 4 日 19 時 7 分頃 紀伊半島沖の地震

上図：名古屋　下図：大阪

黒線：観測速度波形　赤：2018 年モデル　青：2017 年モデル　緑：2016 年モデル



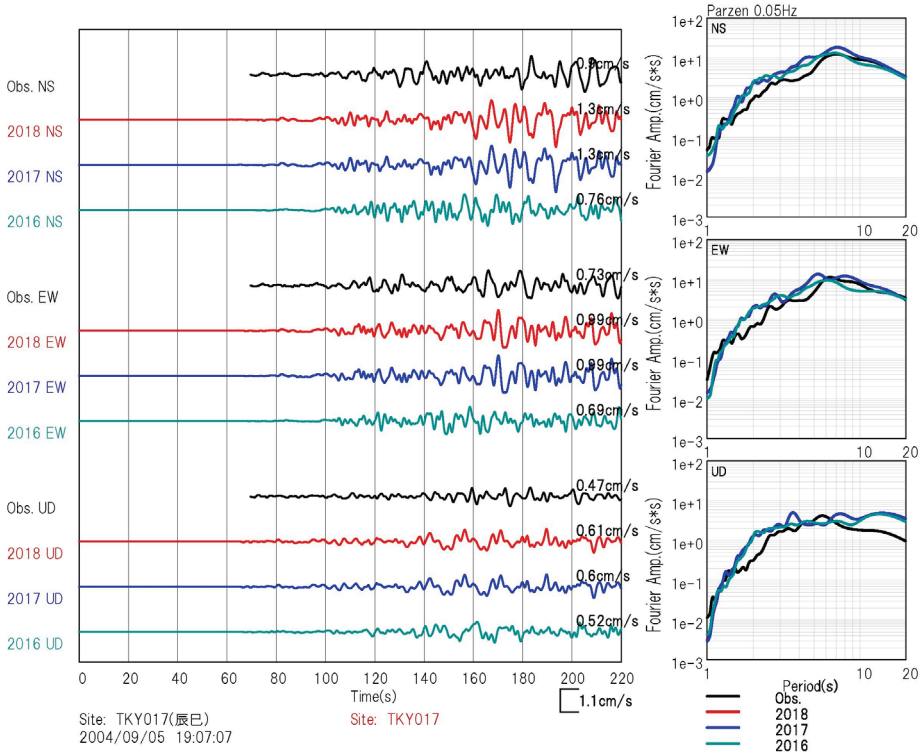


図 3.2-20　観測速度波形との比較　2004 年 7 月 4 日 19 時 7 分頃 紀伊半島沖の地震

上図：浜岡　下図：辰巳

黒線：観測速度波形　赤：2018 年モデル　青：2017 年モデル　緑：2016 年モデル

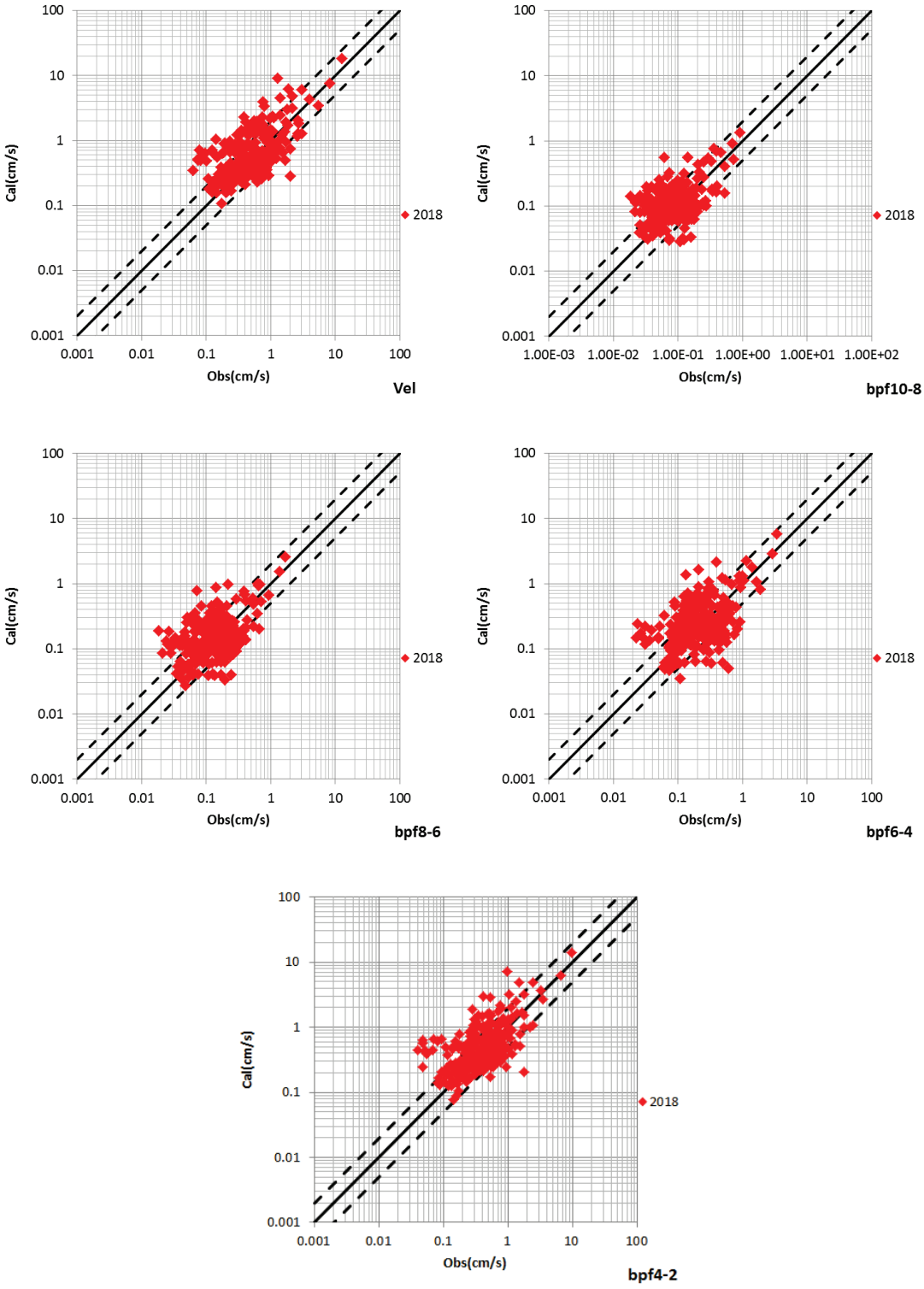


図 3.2-21　　2009 年 8 月 11 日 駿河湾の地震（M6.5）　最大速度の比較

2018 年モデル　横軸：観測　縦軸：計算

Vel：周期 2 秒以上の最大速度　bpf10-8：周期 10~8 秒の最大速度

bpf8-6：周期 8~6 秒の最大速度　bpf6-4：周期 6~4 秒の最大速度

bpf4-2：周期 4~2 秒の最大速度

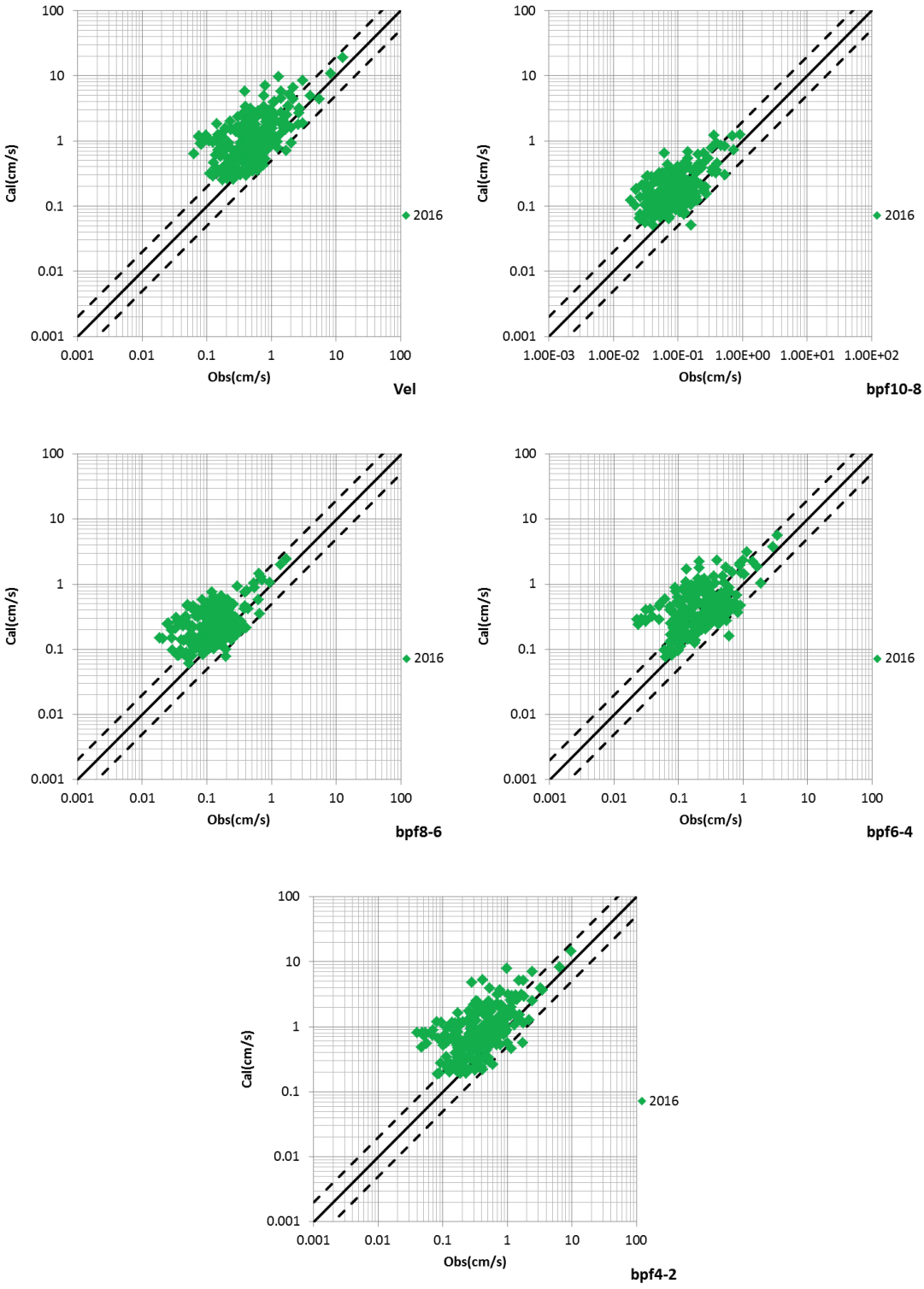


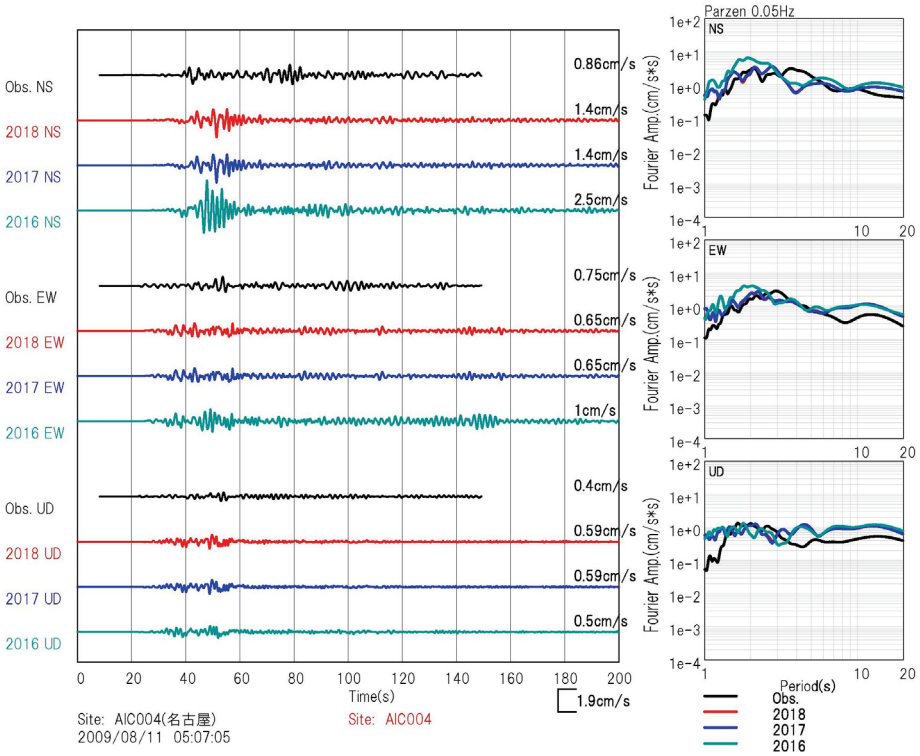
図 3.2-22　　2009 年 8 月 11 日 駿河湾の地震（M6.5）　最大速度の比較

2016 年モデル　横軸：観測　縦軸：計算

Vel：周期 2 秒以上の最大速度　bpf10-8：周期 10~8 秒の最大速度

bpf8-6：周期 8~6 秒の最大速度　bpf6-4：周期 6~4 秒の最大速度

bpf4-2：周期 4~2 秒の最大速度



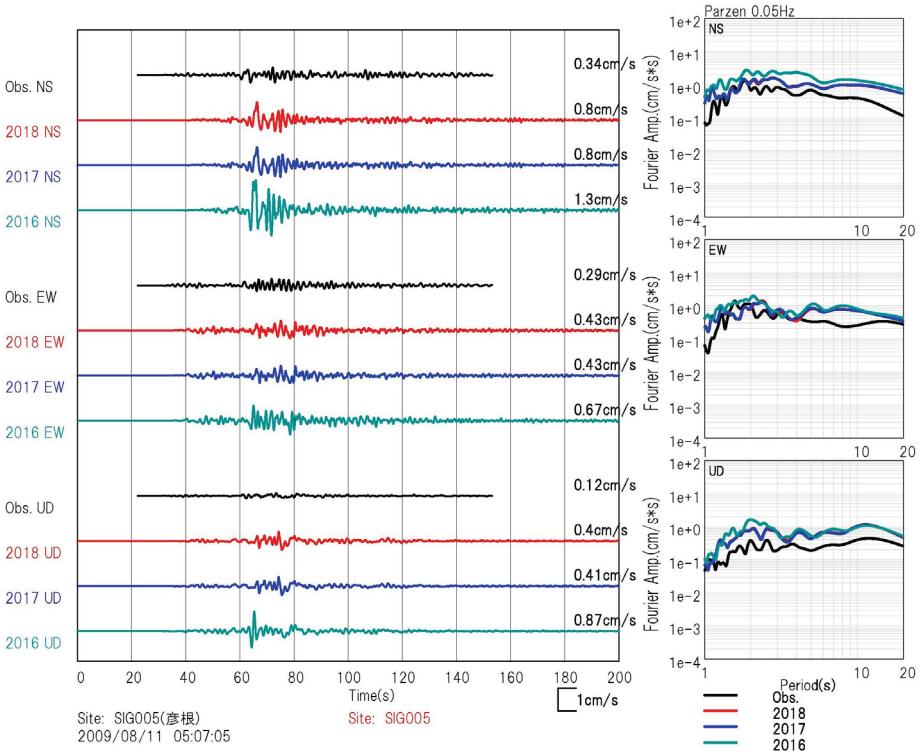
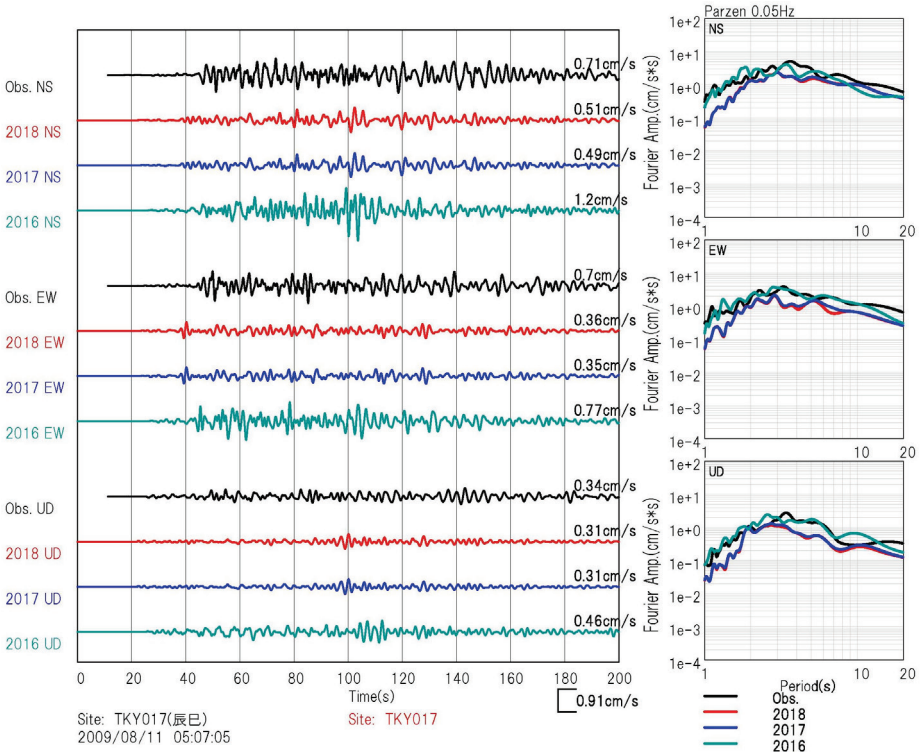


図 3.2-23　観測速度波形との比較　2009 年 8 月 11 日 駿河湾の地震（M6.5）

上図：名古屋　下図：彦根

黒線：観測速度波形　赤：2018 年モデル　青：2017 年モデル　緑：2016 年モデル



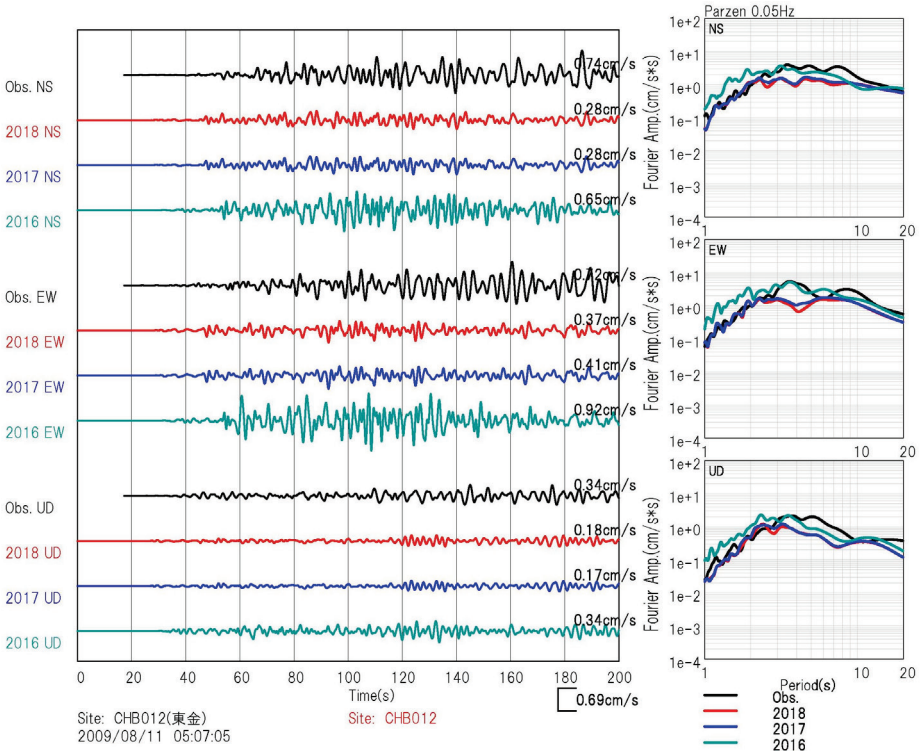


図 3.2-24　観測速度波形との比較　2009 年 8 月 11 日 駿河湾の地震（M6.5）

上図：辰巳　下図：東金

黒線：観測速度波形　赤：2018 年モデル　青：2017 年モデル　緑：2016 年モデル

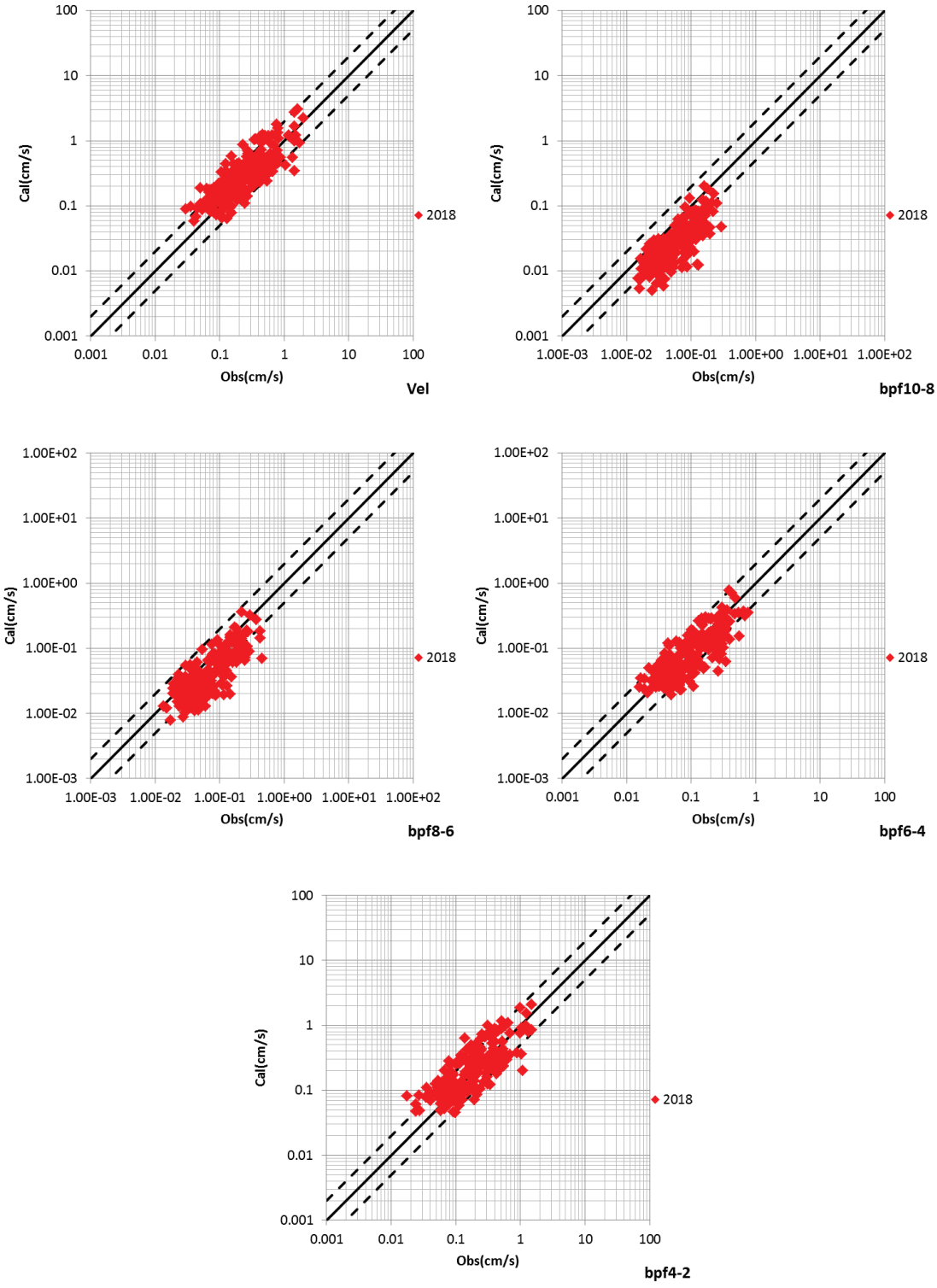


図 3.2-25　　2011 年 8 月 1 日 駿河湾の地震（M6.2）　最大速度の比較

2018 年モデル　横軸：観測　縦軸：計算

Vel：周期 2 秒以上の最大速度　bpf10-8：周期 10~8 秒の最大速度

bpf8-6：周期 8~6 秒の最大速度　bpf6-4：周期 6~4 秒の最大速度

bpf4-2：周期 4~2 秒の最大速度

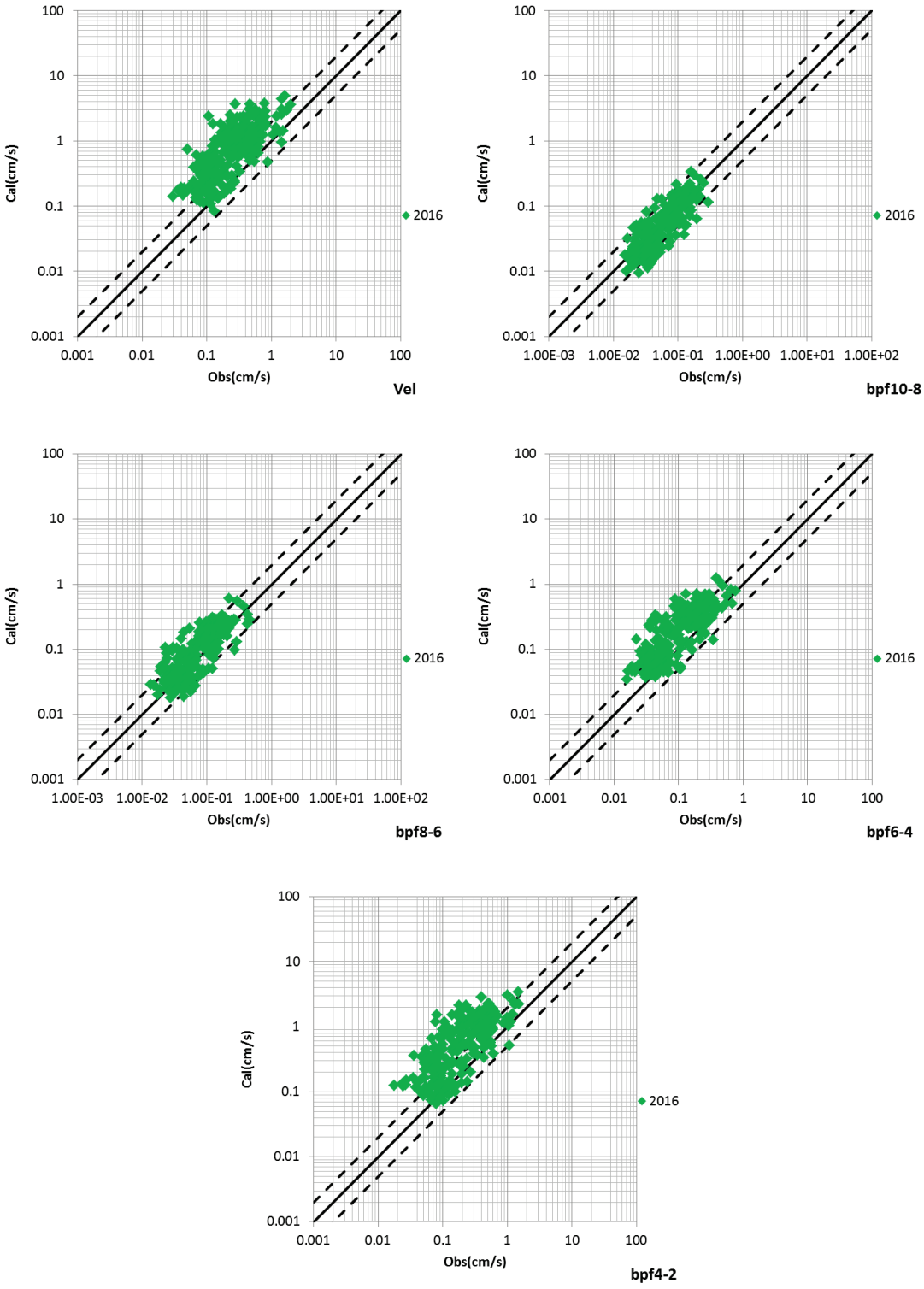


図 3.2-26　2011 年 8 月 1 日 駿河湾の地震（M6.2）　最大速度の比較

2016 年モデル　横軸：観測　縦軸：計算

Vel：周期 2 秒以上の最大速度　bpf10-8：周期 10~8 秒の最大速度

bpf8-6：周期 8~6 秒の最大速度　bpf6-4：周期 6~4 秒の最大速度

bpf4-2：周期 4~2 秒の最大速度

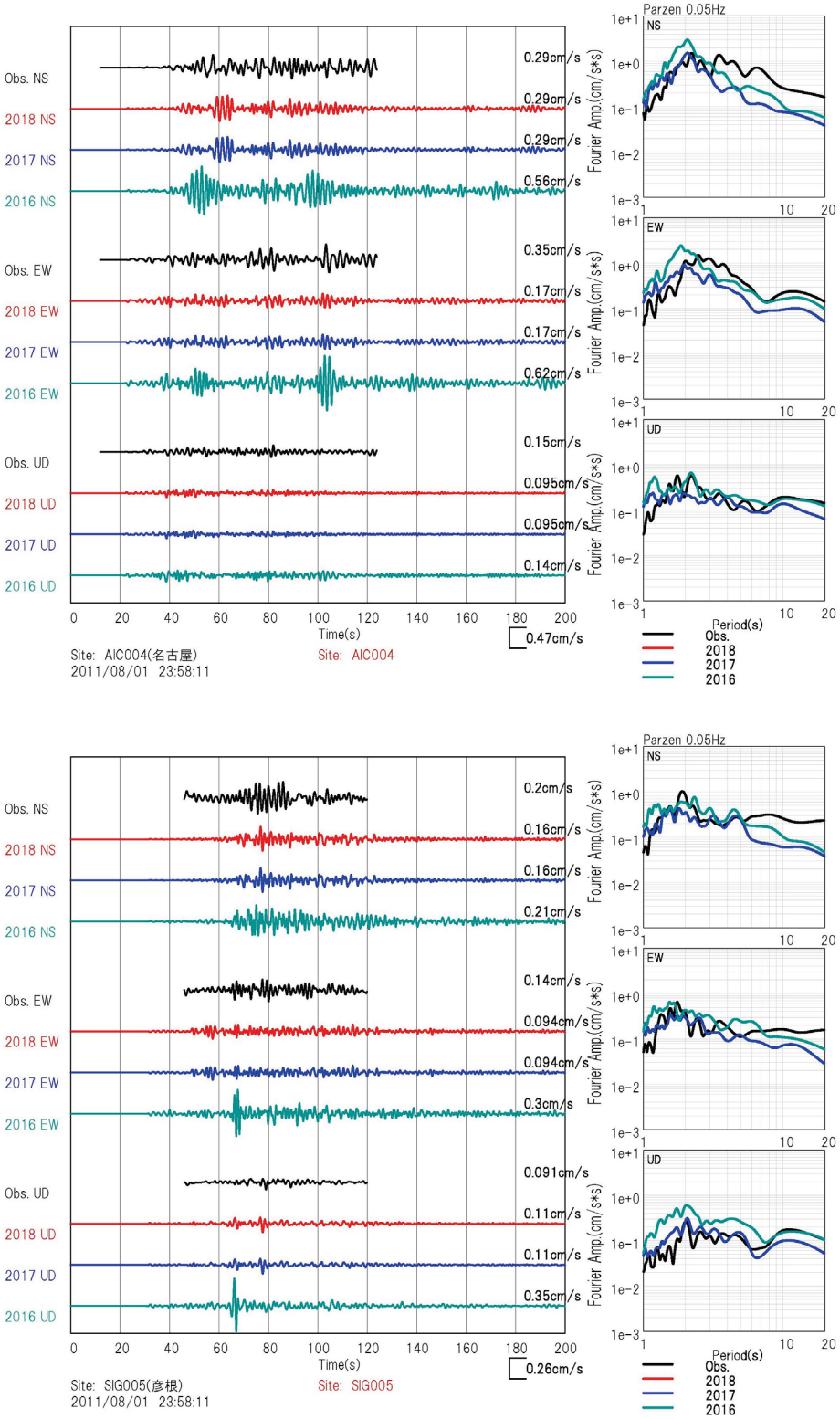


図 3.2-27　観測速度波形との比較　2011 年 8 月 1 日 駿河湾の地震（M6.2）

上図：名古屋　下図：彦根

黒線：観測速度波形　赤：2018 年モデル　青：2017 年モデル　緑：2016 年モデル

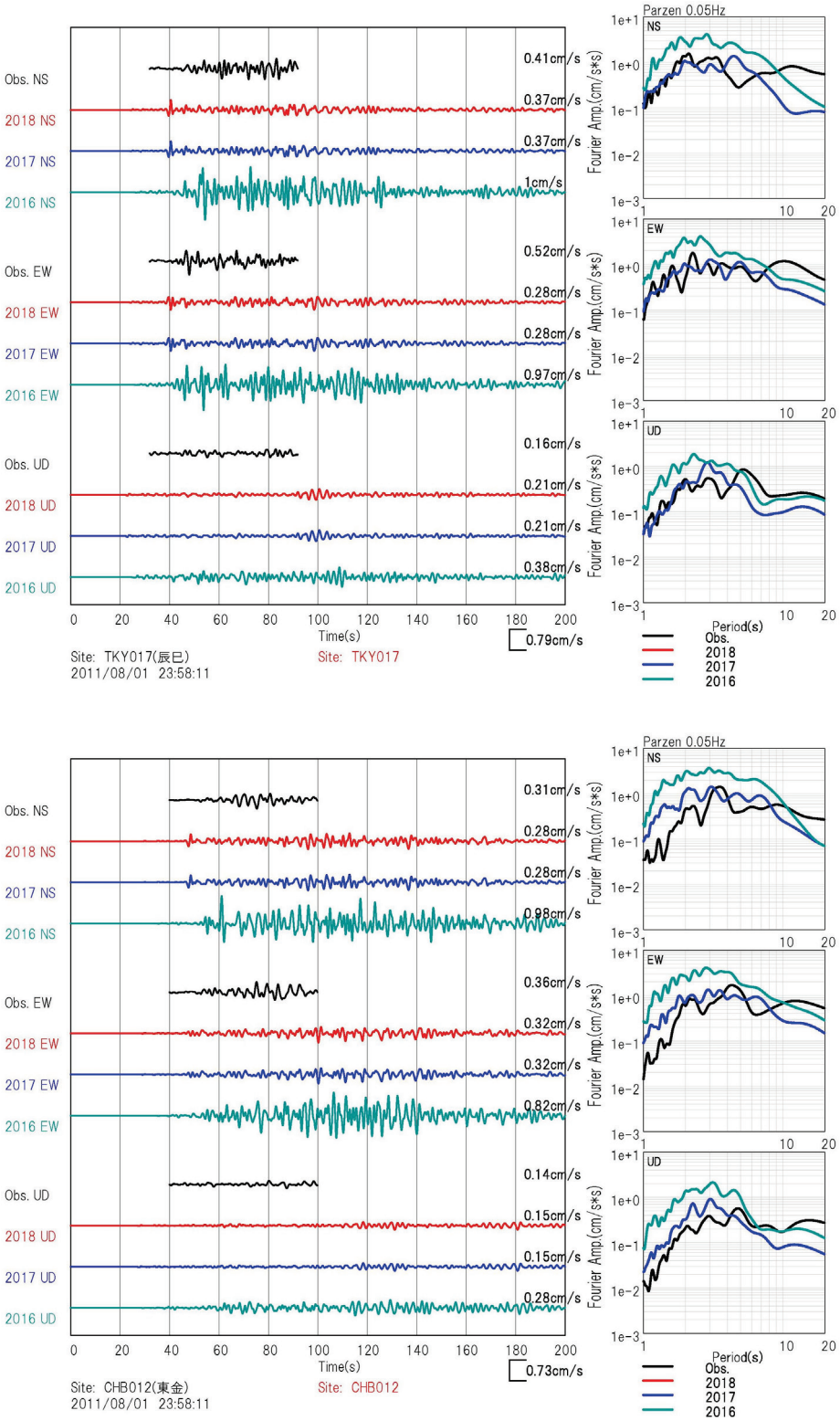


図 3.2-28　観測速度波形との比較　2011 年 8 月 1 日 駿河湾の地震（M6.2）

上図：辰巳　下図：東金

黒線：観測速度波形　赤：2018 年モデル　青：2017 年モデル　緑：2016 年モデル

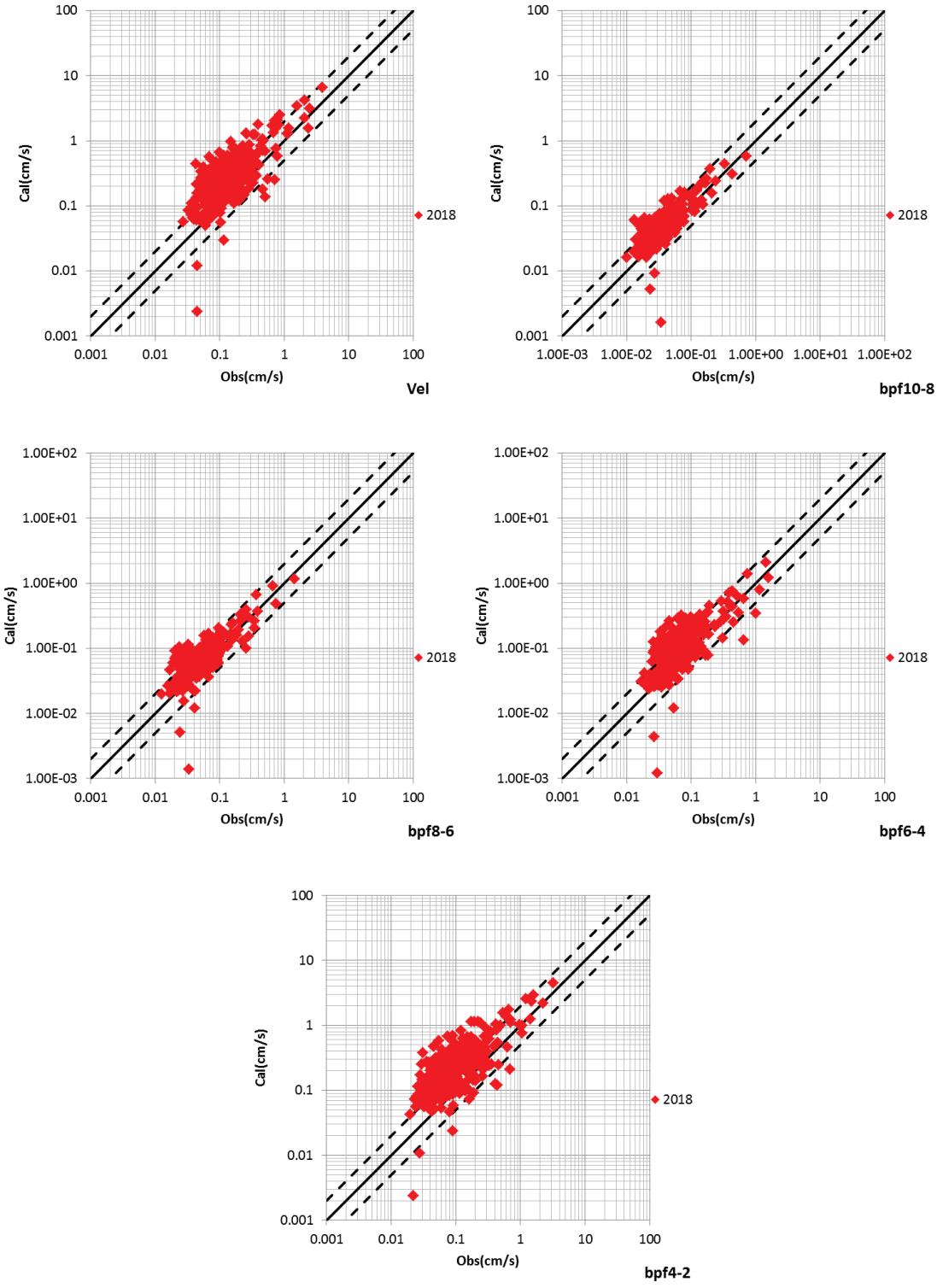


図 3.2-29　2013 年 4 月 13 日 淡路島付近の地震（M6.3）　最大速度の比較

2018 年モデル　横軸：観測　縦軸：計算

Vel：周期 2 秒以上の最大速度　bpf10-8：周期 10~8 秒の最大速度

bpf8-6：周期 8~6 秒の最大速度　bpf6-4：周期 6~4 秒の最大速度

bpf4-2：周期 4~2 秒の最大速度

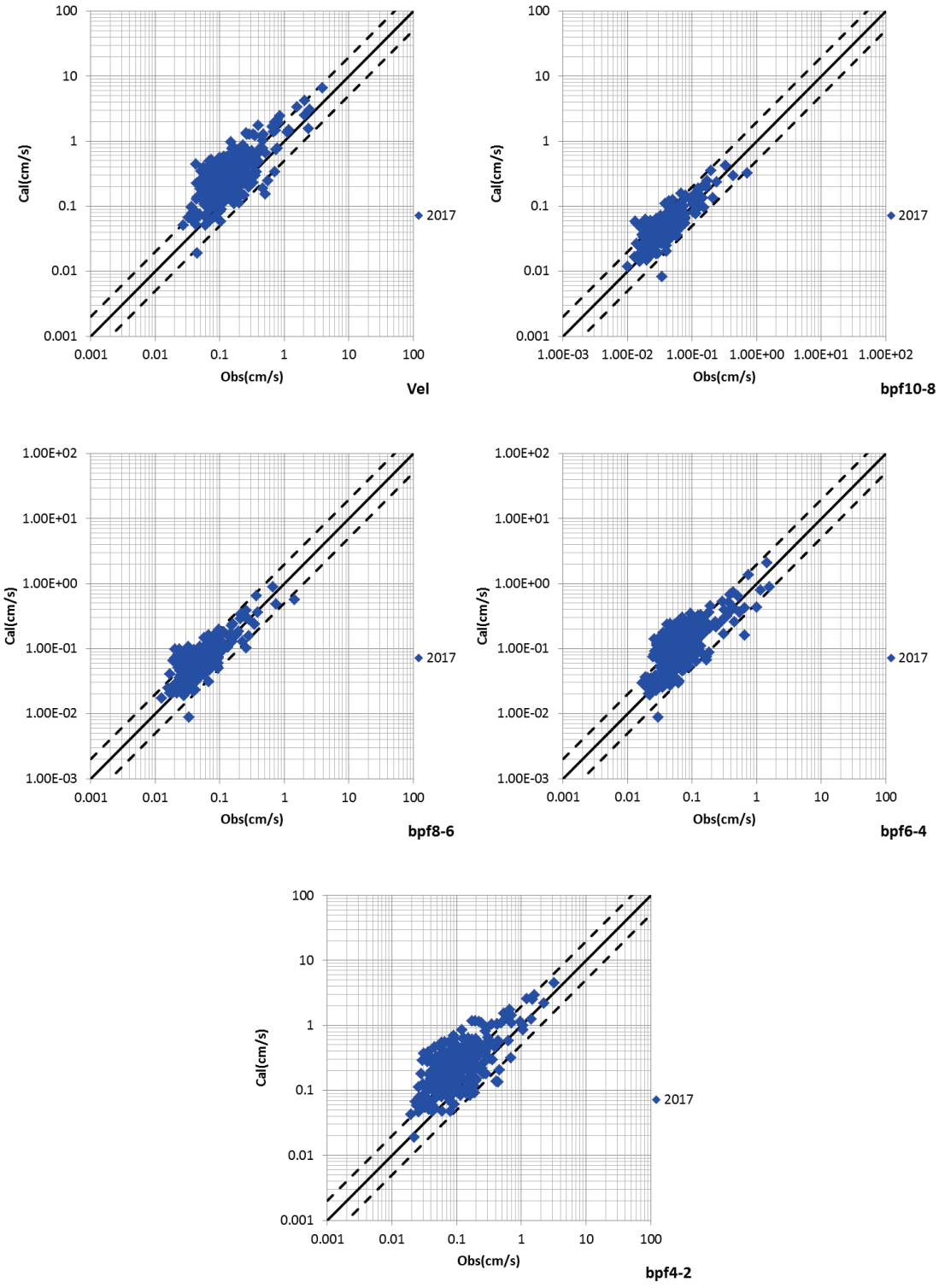


図 3.2-30　2013 年 4 月 13 日 淡路島付近の地震（M6.3）　最大速度の比較

2017 年モデル　横軸：観測　縦軸：計算

Vel：周期 2 秒以上の最大速度　bpf10-8：周期 10~8 秒の最大速度

bpf8-6：周期 8~6 秒の最大速度　bpf6-4：周期 6~4 秒の最大速度

bpf4-2：周期 4~2 秒の最大速度

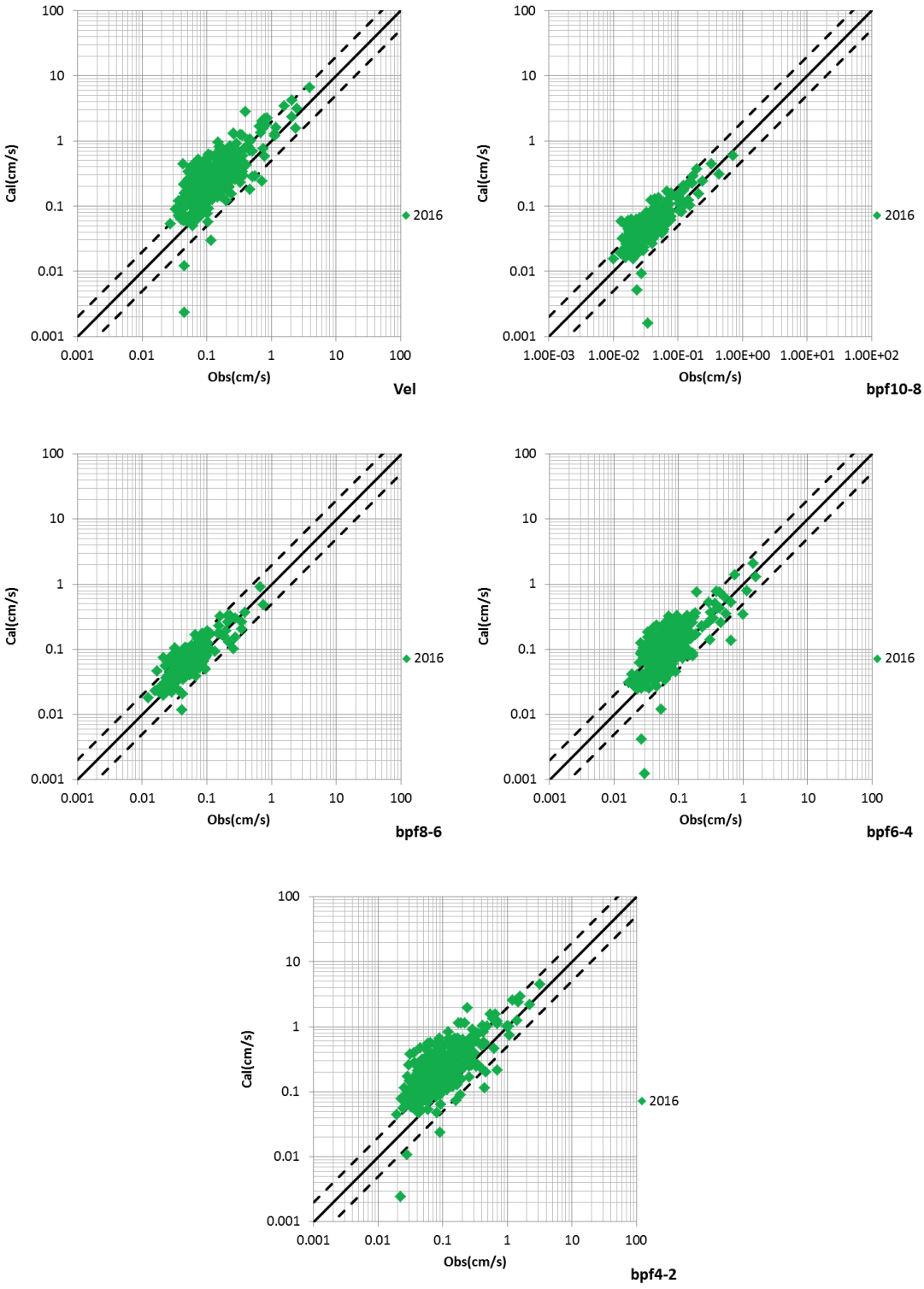


図 3.2-31　2013 年 4 月 13 日 淡路島付近の地震（M6.3）　最大速度の比較

2016 年モデル　横軸：観測　縦軸：計算

Vel：周期 2 秒以上の最大速度　bpf10-8：周期 10~8 秒の最大速度

bpf8-6：周期 8~6 秒の最大速度　bpf6-4：周期 6~4 秒の最大速度

bpf4-2：周期 4~2 秒の最大速度

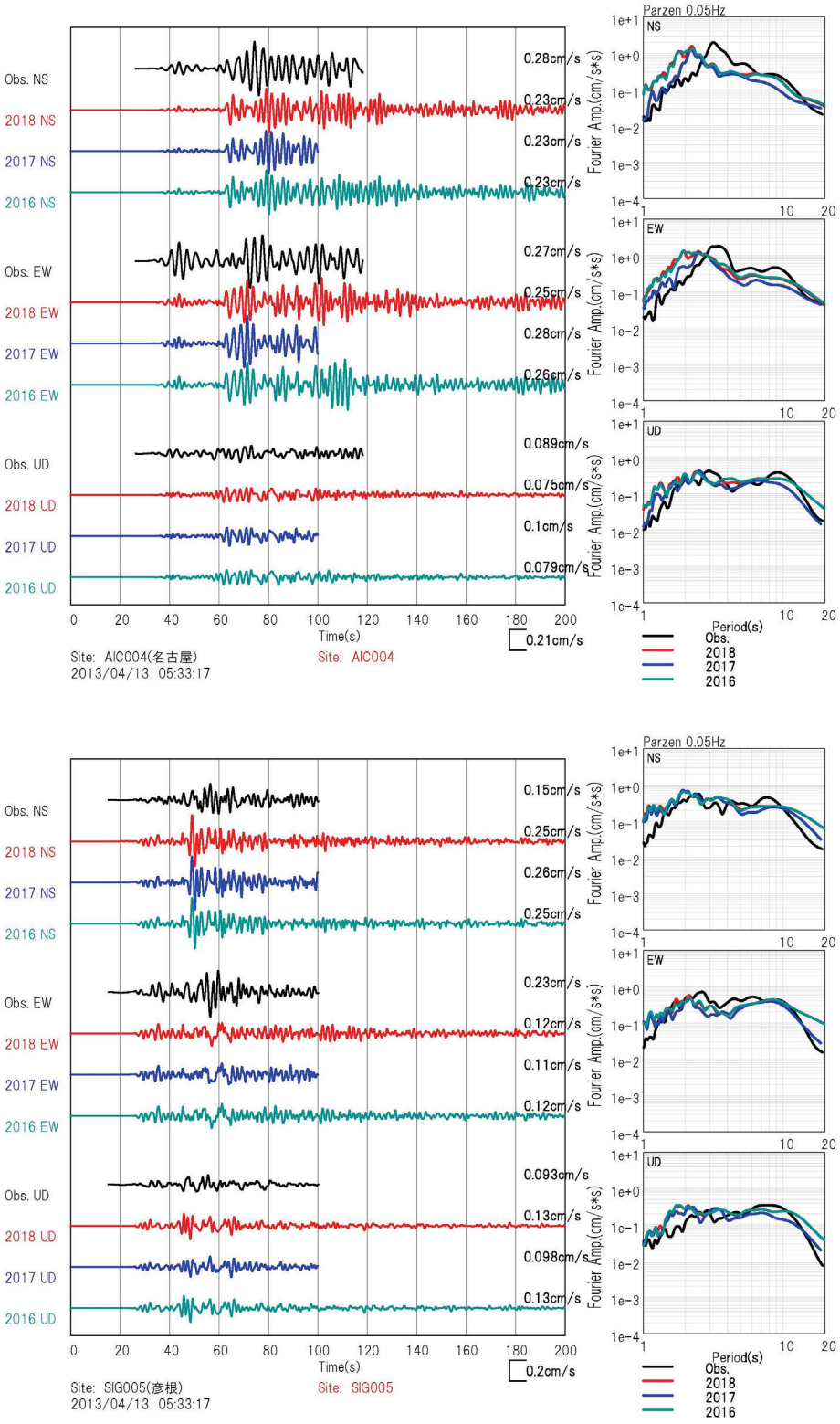


図 3.2-32　観測速度波形との比較　2013 年 4 月 13 日 淡路島付近の地震（M6.3）

上図：名古屋　下図：彦根

黒線：観測速度波形　赤：2018 年モデル　青：2017 年モデル　緑：2016 年モデル

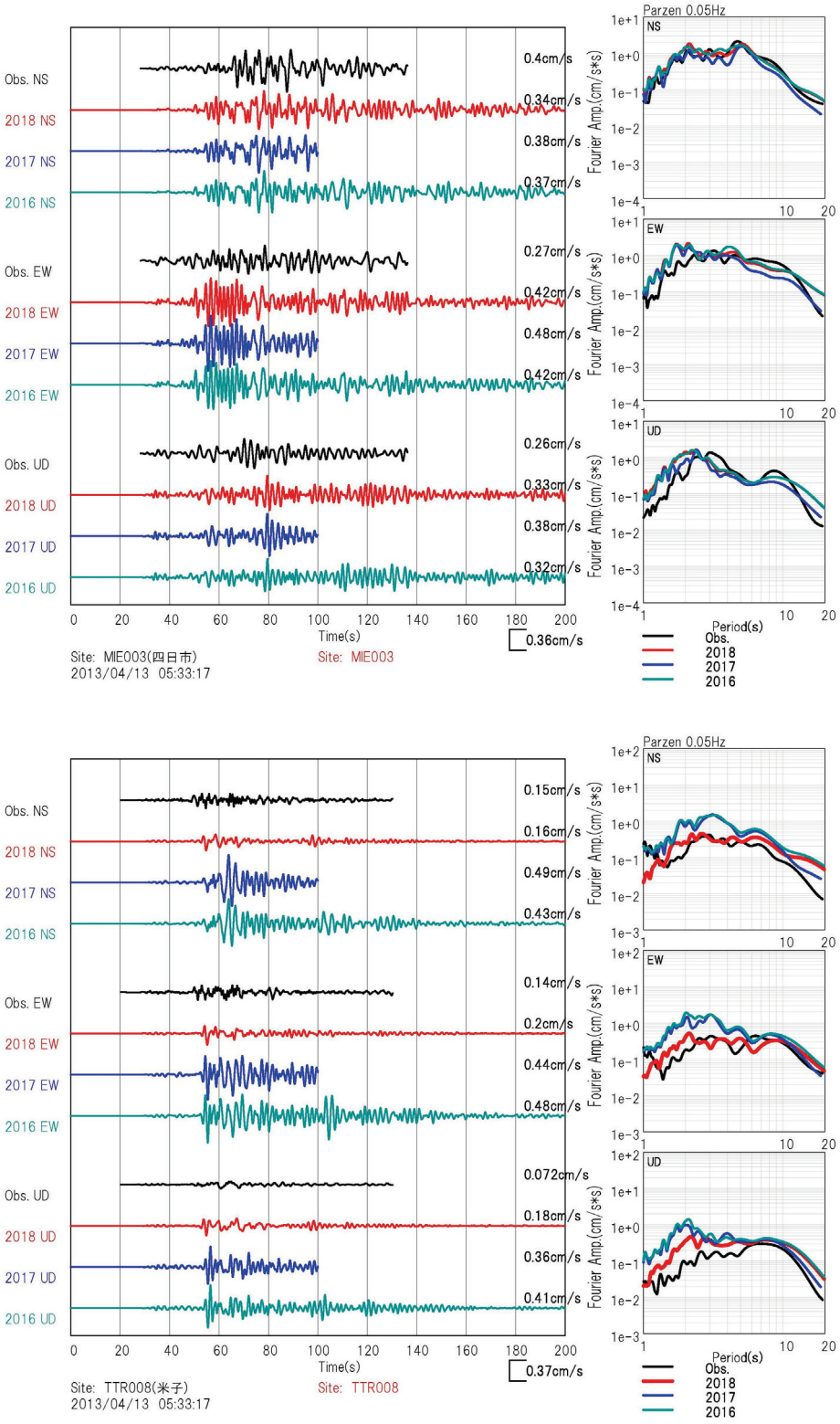


図 3.2-33　観測速度波形との比較　2013 年 4 月 13 日 淡路島付近の地震（M6.3）

上図：四日市　下図：米子

黒線：観測速度波形　赤：2018 年モデル　青：2017 年モデル　緑：2016 年モデル

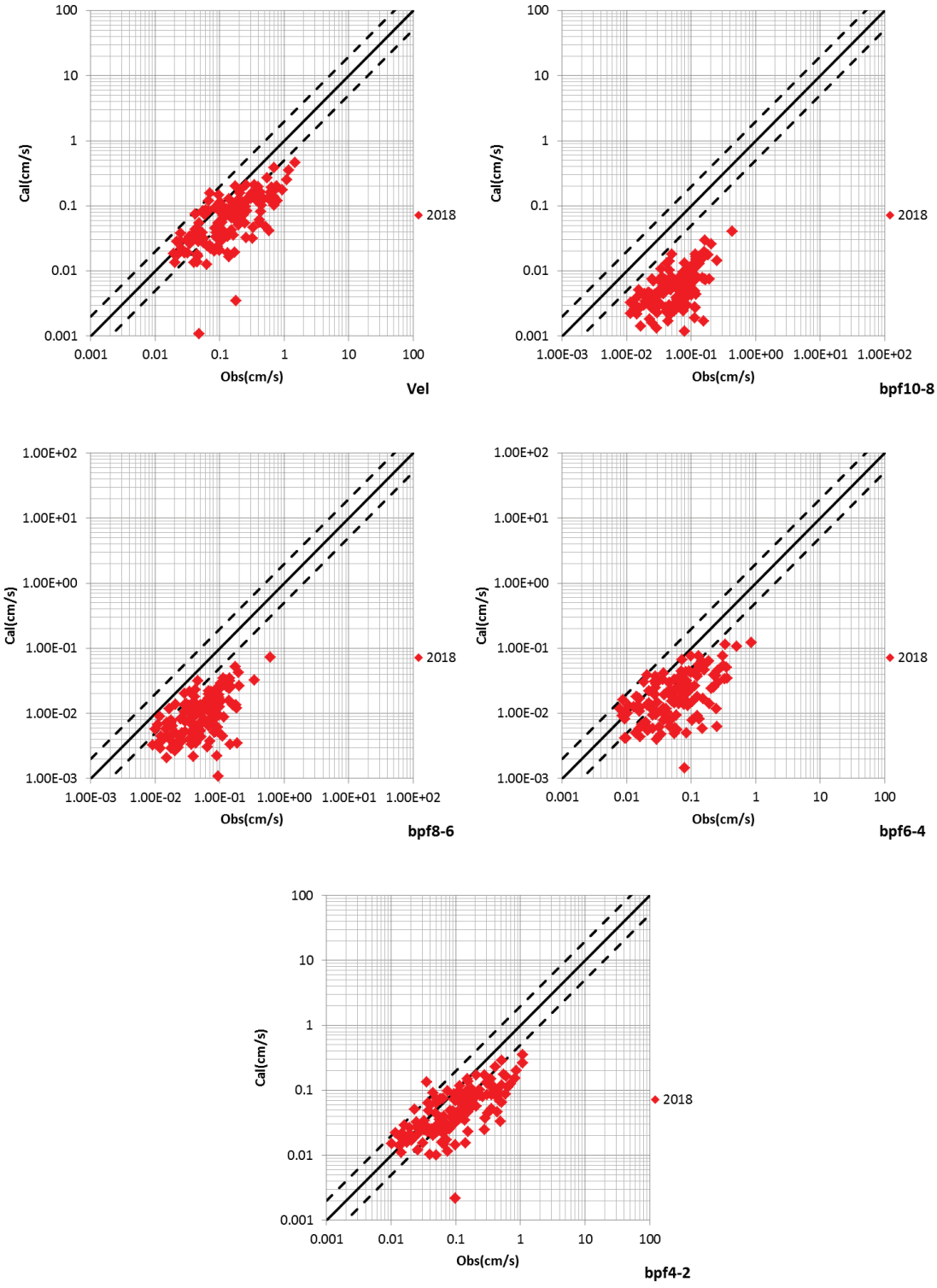


図 3.2-34　　2011 年 8 月 1 日 駿河湾の地震（M6.2）　最大速度の比較

2018 年モデル　横軸：観測　縦軸：計算

Vel：周期 2 秒以上の最大速度　bpf10-8：周期 10~8 秒の最大速度

bpf8-6：周期 8~6 秒の最大速度　bpf6-4：周期 6~4 秒の最大速度

bpf4-2：周期 4~2 秒の最大速度

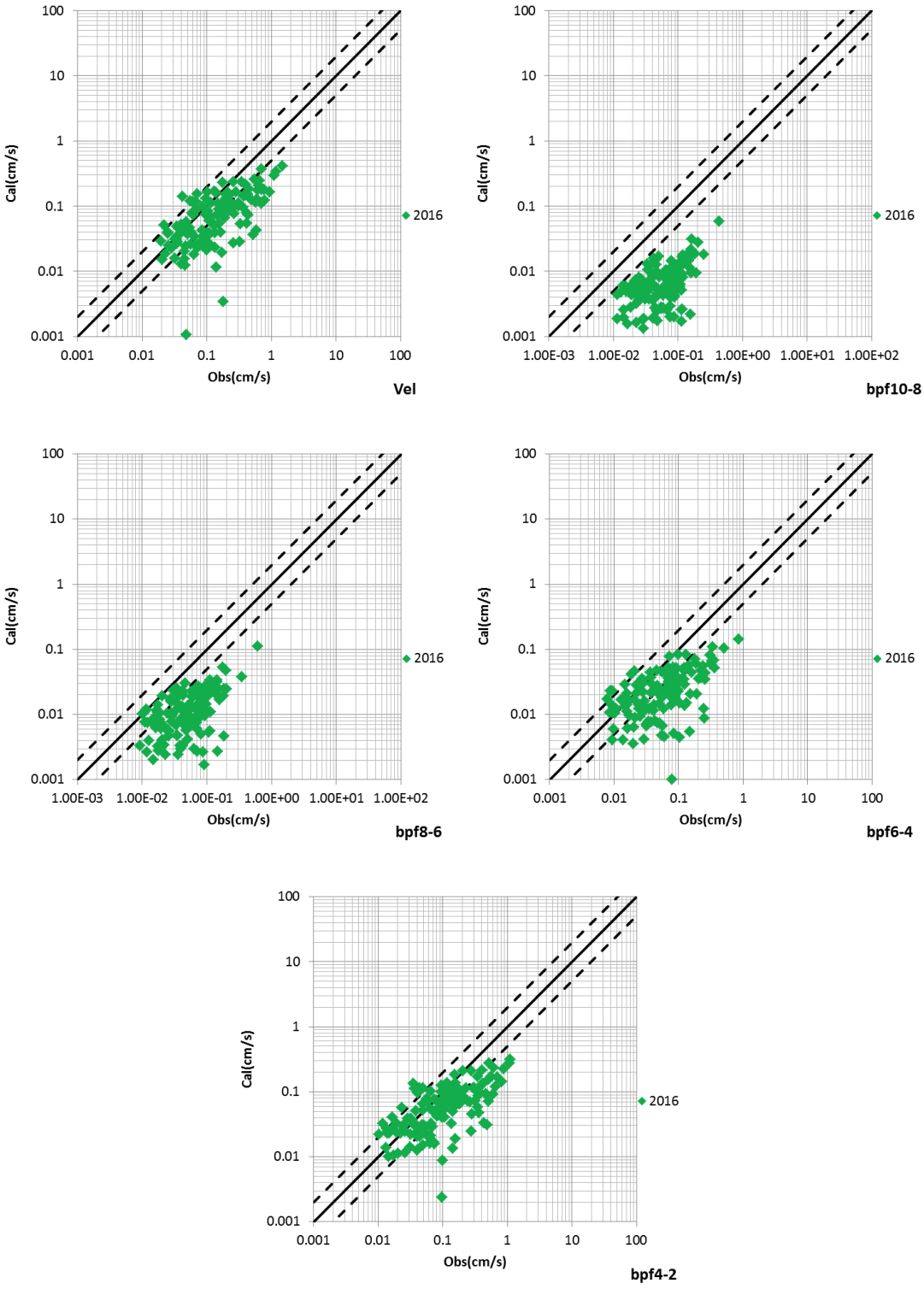


図 3.2-35　2016 年 4 月 1 日 三重県南東沖の地震（M6.5）　最大速度の比較

2016 年モデル　横軸：観測　縦軸：計算

Vel：周期 2 秒以上の最大速度　bpf10-8：周期 10~8 秒の最大速度

bpf8-6：周期 8~6 秒の最大速度　bpf6-4：周期 6~4 秒の最大速度

bpf4-2：周期 4~2 秒の最大速度

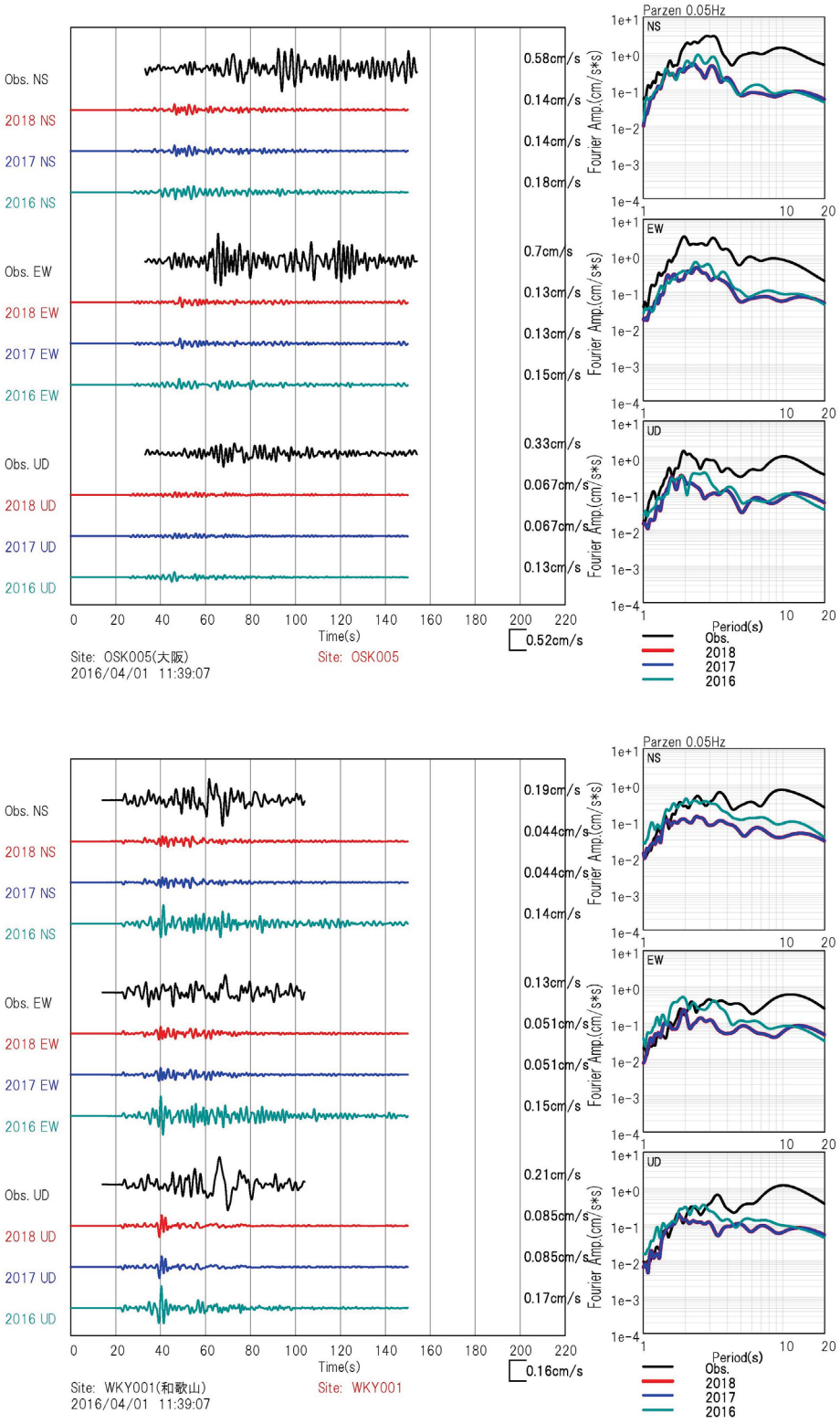


図 3.2-36　観測速度波形との比較　2016 年 4 月 1 日 三重県南東沖の地震（M6.5）

上図：大阪　下図：和歌山

黒線：観測速度波形　赤：2018 年モデル　青：2017 年モデル　緑：2016 年モデル

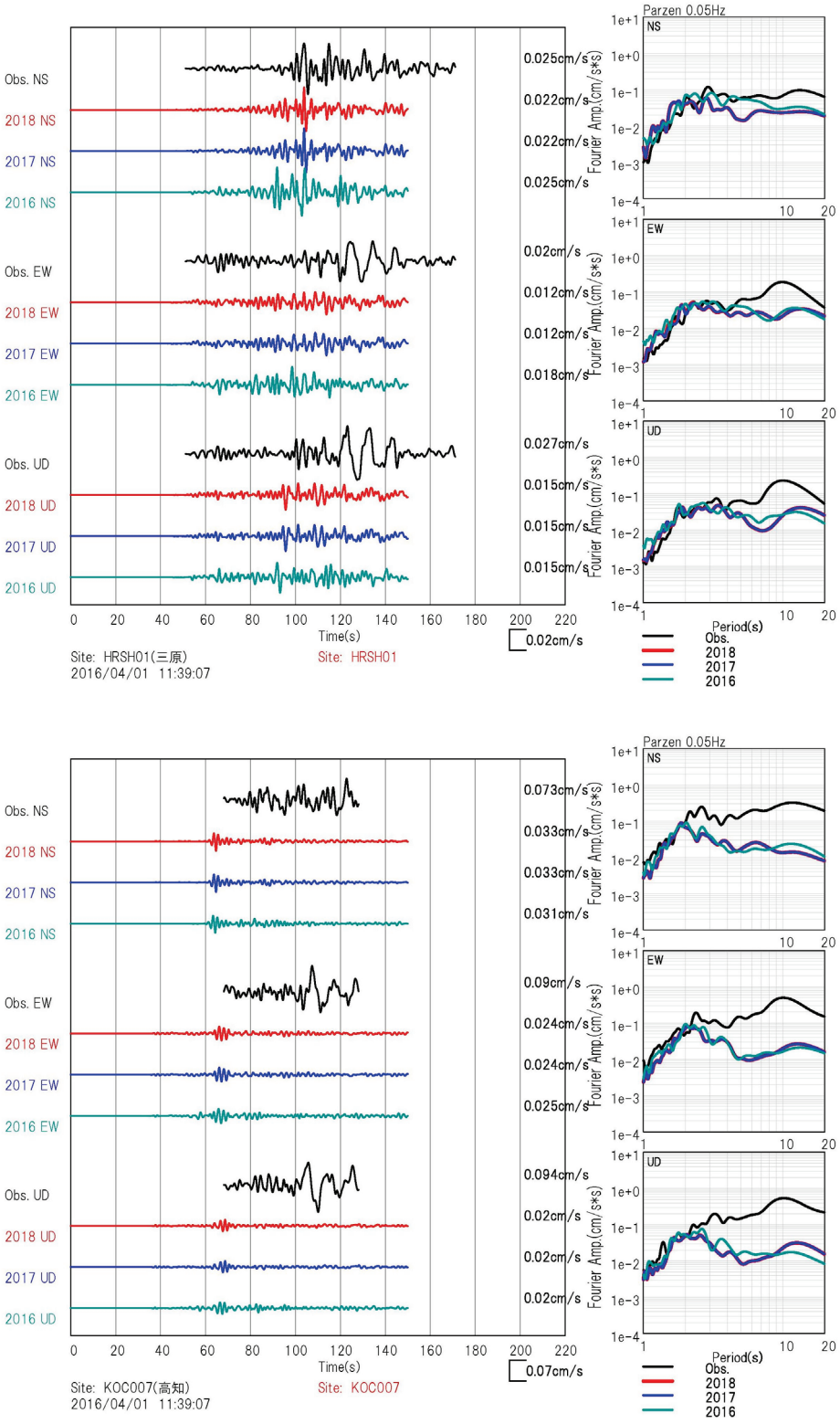


図 3.2-37　観測速度波形との比較　2016 年 4 月 1 日 三重県南東沖の地震（M6.5）

上図：三原　下図：高知

黒線：観測速度波形　赤：2018 年モデル　青：2017 年モデル　緑：2016 年モデル

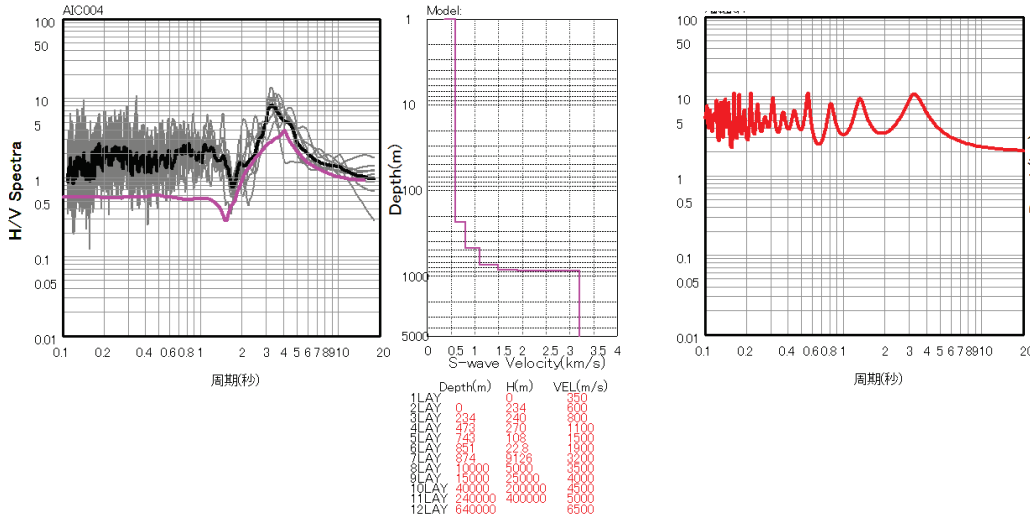


図 3.2-38　　AIC004 における地震動の R/V スペクトルと地盤モデルによるレイリー波の H/V スペクトルの比較および S 波増幅特性

(c)　結論および今後の課題

中国地方および四国地方の地方自治体（県）を対象として、5年間程度以内に実施された地震被害想定で用いられている地下構造モデルに関する情報を収集した。鳥取県、熊本平野において、既往調査結果をもとにした地盤モデルを平成29年度に部分改良した全国1次地下構造モデル（暫定版）と接合することにより改良を行った。

更新された地盤モデルを用いて、中小地震の再現計算を実施した。

南海トラフ域について反射法地震探査データをもとに調整した2018年モデルの方が、2016年および2017年モデルに比べ再現性が高いと判断される。また、今回地盤モデルを修正した鳥取県周辺では2017年モデルからの改善も見られた。ただし、三重県南東沖の地震では観測データをよく説明できていなく、地盤モデルの調整だけでなく、震源モデルの検討も必要であると考えられる。

(d)　引用文献

愛媛県（2014）：愛媛県地震被害想定調査報告書　第 2 編　地震動・液状化・土砂災害, https://www.pref.ehime.jp/bosai/higaisoutei/documents/4dai2hen-jishindo.pdf.

Senna S., A. Wakai, H. Suzuki, A. Yatagai, H. Matsuyam and H. Fujiwara (2018): Modeling of the Subsurface Structure from the Seismic Bedrock to the Ground Surface for a Broadband Strong Motion Evaluation in Kumamoto Plain, Journal of Disaster Research, Vol.13, No.5, 917-927.

鈴木亘・青井真（2009）：金地強震動記録による平成 21 年（2009 年）8 月 11 日駿河湾の地震の震源インバージョン,

http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/surugawan_20090811/inversion/

徳島県（2013）：徳島県地震被害想定－手法編－（第一次報告），
https://anshin.pref.tokushima.jp/docs/2013071900016/files/shuhou_shousai.pdf.

鳥取県地震防災調査研究委員会【被害想定部会】（2015）：第 1 回被害想定部会　資料 3　地盤モデル作成および地震動予測結果（説明用），
https://www.pref.tottori.lg.jp/secure/952050/270324_higai_shiryo_3.pdf.

山中佳子（2004）：EIC地震学ノート No.153，
wwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2004/EIC153.html.

3.3. 南海トラフ巨大地震による長周期地震動計算

(1) 事業の内容

(a) 事業の題目

南海トラフ巨大地震による長周期地震動計算

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	部門長	藤原　広行
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	主幹研究員	先名　重樹
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	主任研究員	森川　信之
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	主任研究員	前田　宜浩
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	契約研究員	岩城　麻子

(c) 事業の目的

サブテーマ（1）で作成した震源モデルと部分改良された全国 1 次地下構造モデル（暫定版）を用いて、可能な限り広い周波数帯域を対象とした長周期地震動シミュレーション計算を行う。また、浅部地盤モデルによる増幅を考慮した計算結果を提示する。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

サブテーマ（1）で作成した震源モデルと部分改良された全国 1 次地下構造モデル（暫定版）により、周期 2～20 秒を対象とした長周期地震動計算を行った。計算範囲は、南海トラフ震源域～関東地方（島嶼部を除く）とした。また、浅部地盤による増幅に関して、関東地方および東海地域については、防災科学技術研究所が実施している総合科学技術・イノベーション会議の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）⑤「レジリエントな防災・減災機能の強化」と連携し、浅部地盤モデルに基づいた上記の計算対象周期における増幅率を利用した。

(b) 事業の成果

1) 南海トラフ地震の長周期地震動シミュレーション

サブテーマ（1）で作成した 126 ケースの震源モデル（3.1 節参照）および平成 29 年度の「長周期地震動ハザードマップ作成のための基礎調査・モデル作成等」で作成された地下構造モデルを用いて、長周期地震動シミュレーションを行った。計算対象範囲は、東海地域のみでなく、南海トラフの地震による長周期地震動が懸念されること、浅部・深部統合地盤モデルに基づく地下構造モデルとなっていることを考慮して南関東も含むように設定した（図 3.3-1）。計算は、不連続格子の三次元有限差分法（Aoi and Fujiwara, 1999）を用いて表 3.3-1 に示す条件で行った。ここでの工学的基盤は S 波速度（Vs）350m/s 層上面

としており、表 3.3-1 の条件より周期 1.5 秒以上を対象としている。計算は、防災科学技術研究所が開発・公開している地震動シミュレータ GMS（青井・他、2004）により、防災科学技術研究所の防災情報システム（スーパーコンピューター）および東京工業大学の TSUBAME3.0 上で実施した。

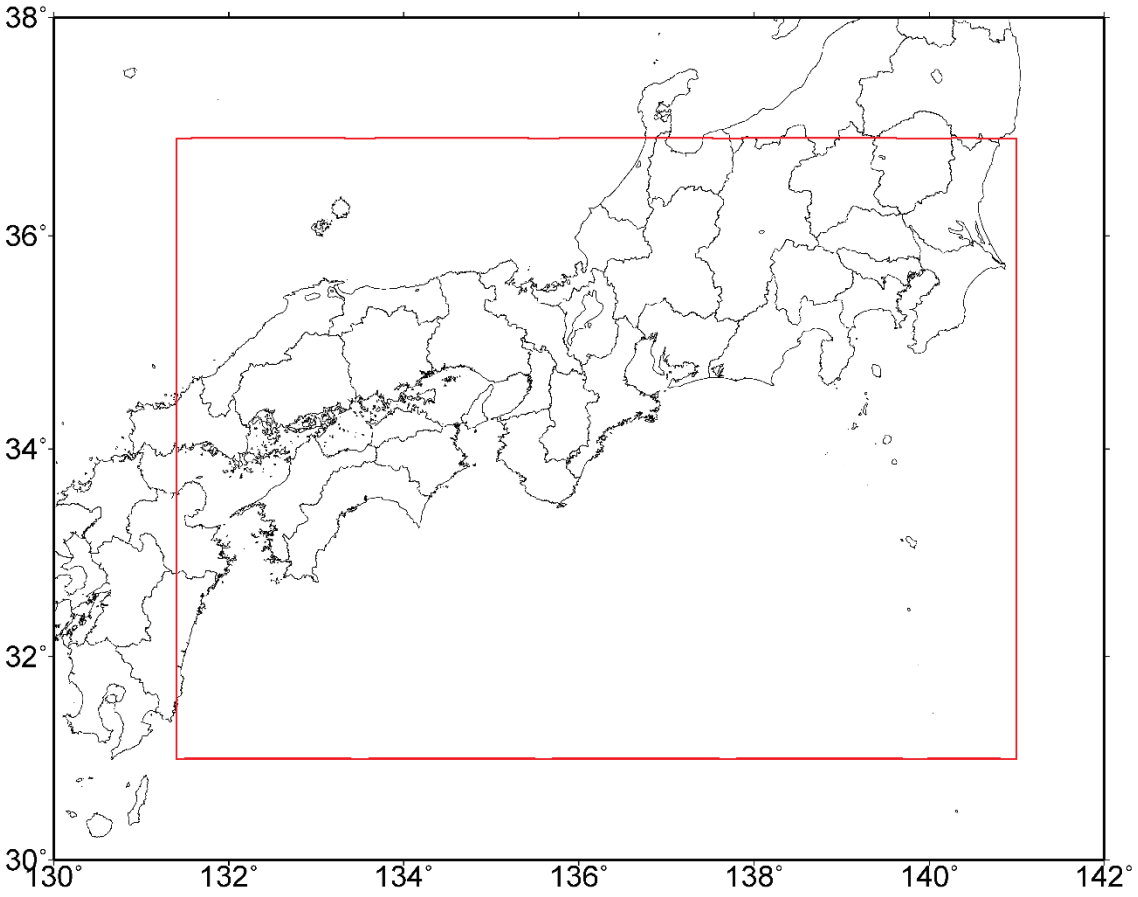


図 3.3-1　本検討における計算対象範囲（図の赤枠）。

表 3.3-1　三次元差分法の計算条件。

時間間隔（dt）	0.008333 [秒]
タイムステップ数（Nstep）	51,600
空間グリッド間隔 （dx, dy, dz）	(140, 140, 100)　（第Ⅰ領域） (420, 420, 300)　（第Ⅱ領域）

2) 浅部地盤による増幅

防災科学技術研究所が実施している総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）⑤「レジリエントな防災・減災機能の強化」では、関東地方および東海地域を対象とした浅部地盤モデルの作成が進められている。関東地方については、文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所（2017）において浅部地盤による増幅率が求められている（図3.3-2）。本検討では東海地域における現時点で利用できる浅部地盤モデルを用いて、鉛直入射を仮定したスペクトル増幅率を求めた（図3.3-3）。ここで、S波増幅特性は、紺野・大町（1995）の対数フィルタを参照して増幅特性を平滑化している。Bの値は20した。Q値は、以下の式であらわされる値を用いた。fcは福島・翠川（1994）を参考に5Hzに固定し、bについては山中・他（2009）を参考に0.44に固定した。Aの値は、関東地方における増幅特性の検討の結果10.6とした

$$Q(f) = \frac{Vs}{a} * f^{\ b} \quad (f < f_c) \qquad (3.3\text{-}1)$$

$$Q(f) = \frac{Vs}{a} * {f_c}^{b} \quad (f \geq f_c) \qquad (3.3\text{-}2)$$

周期2秒および3秒では大きな河川沿いで増幅している地域も見られるもののその範囲は広くない。一方、周期5秒以上では増幅が見られない。

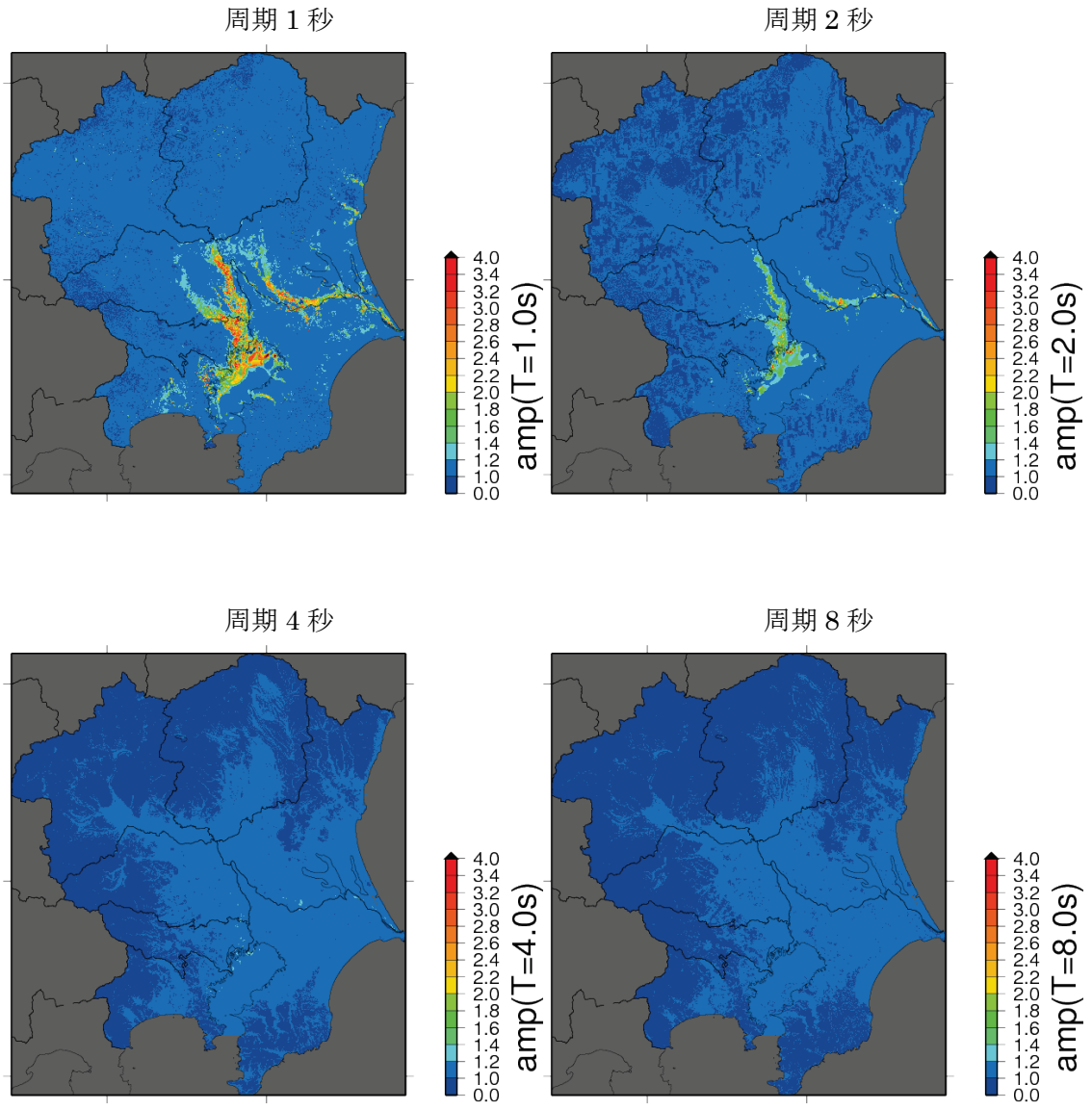


図 3.3-2　総合科学技術・イノベーション会議の SIP で作成されている浅部地盤モデルを参照して求めた関東地方の周期別の応答スペクトルの増幅率（文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所，2017）。

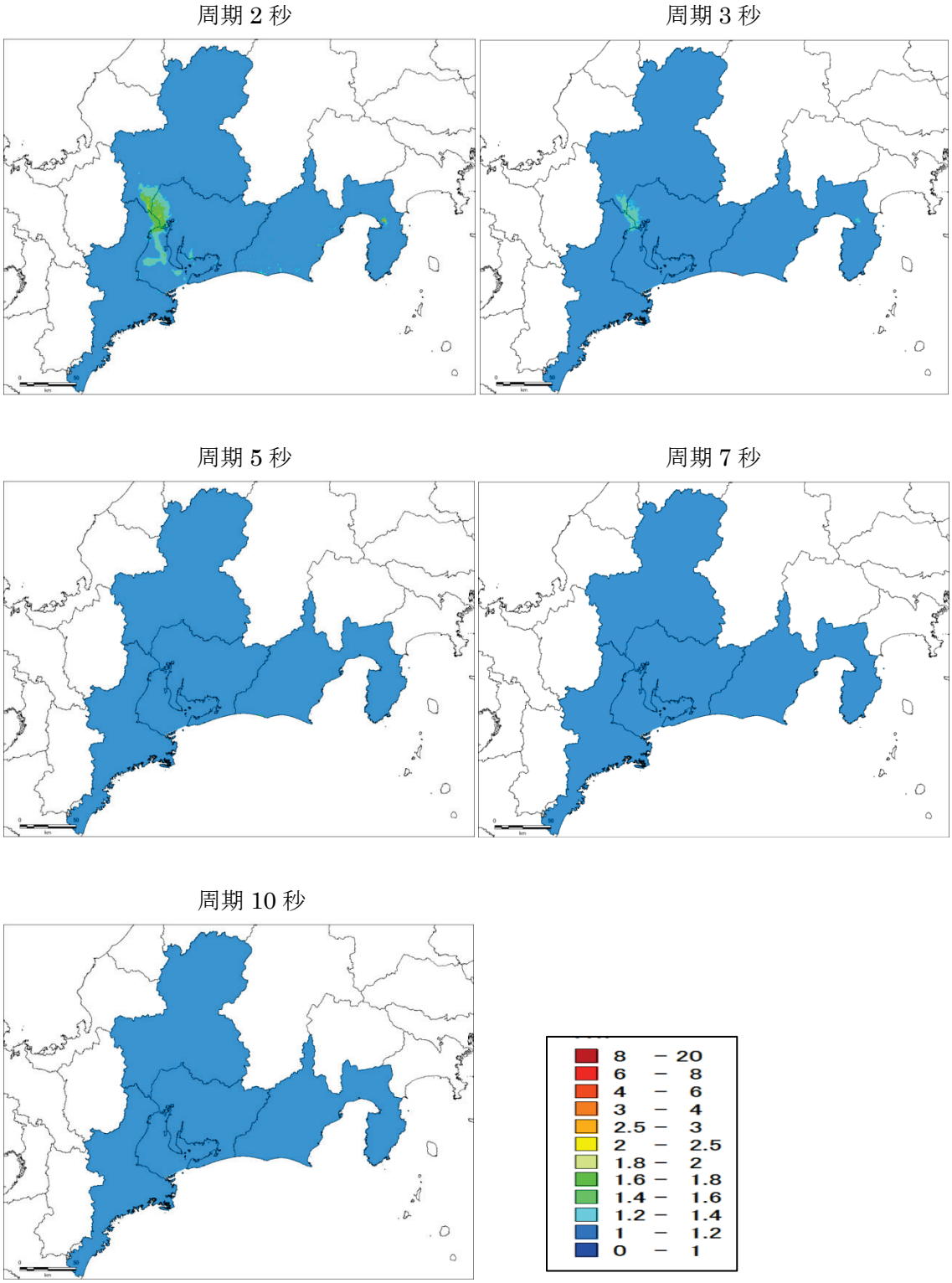


図 3.3-3　総合科学技術・イノベーション会議の SIP で作成されている浅部地盤モデルを参照して求めた東海地域のスペクトル増幅率。

3) 計算結果

上述の地震動シミュレーションによる工学的基盤（Vs=350m/s）上の最大速度分布を図 3.3-4 に、浅部地盤による増幅を考慮したスペクトル増幅相対速度応答スペクトル（減衰定数 5%、周期 2 秒、3 秒、5 秒、7 秒、10 秒）の分布を図 3.3-5 に、それぞれ「AO010」の震源域（3.1 節参照）6 ケースを例として示す。他のケースの分布図については、数値データとともに付録 1 として DVD に納めた。

なお、図 3.3-4 および図 3.3-5 において各図の上部にケース名を記載しているが、以下に対応している。

・t01: 浅部の大すべり域のすべり速度時間関数を中村・宮武（2000）
　　（注：浅部が震源に含まれない場合は常に「t01」）
・t02: 浅部の大すべり域のすべり時間関数を Smoothed ramp 型
・-d: 強振動生成域が領域内の深部（図 3.1-2 参照）
・-m: 強振動生成域が領域内の中部（図 3.1-2 参照）
・-s: 強振動生成域が領域内の浅部（図 3.1-2 参照）
・-h01 ～ -h10: 破壊開始点位置（図 3.1-3 参照）

付録 1 として DVD に納めたデータのファイル名称も同様である。

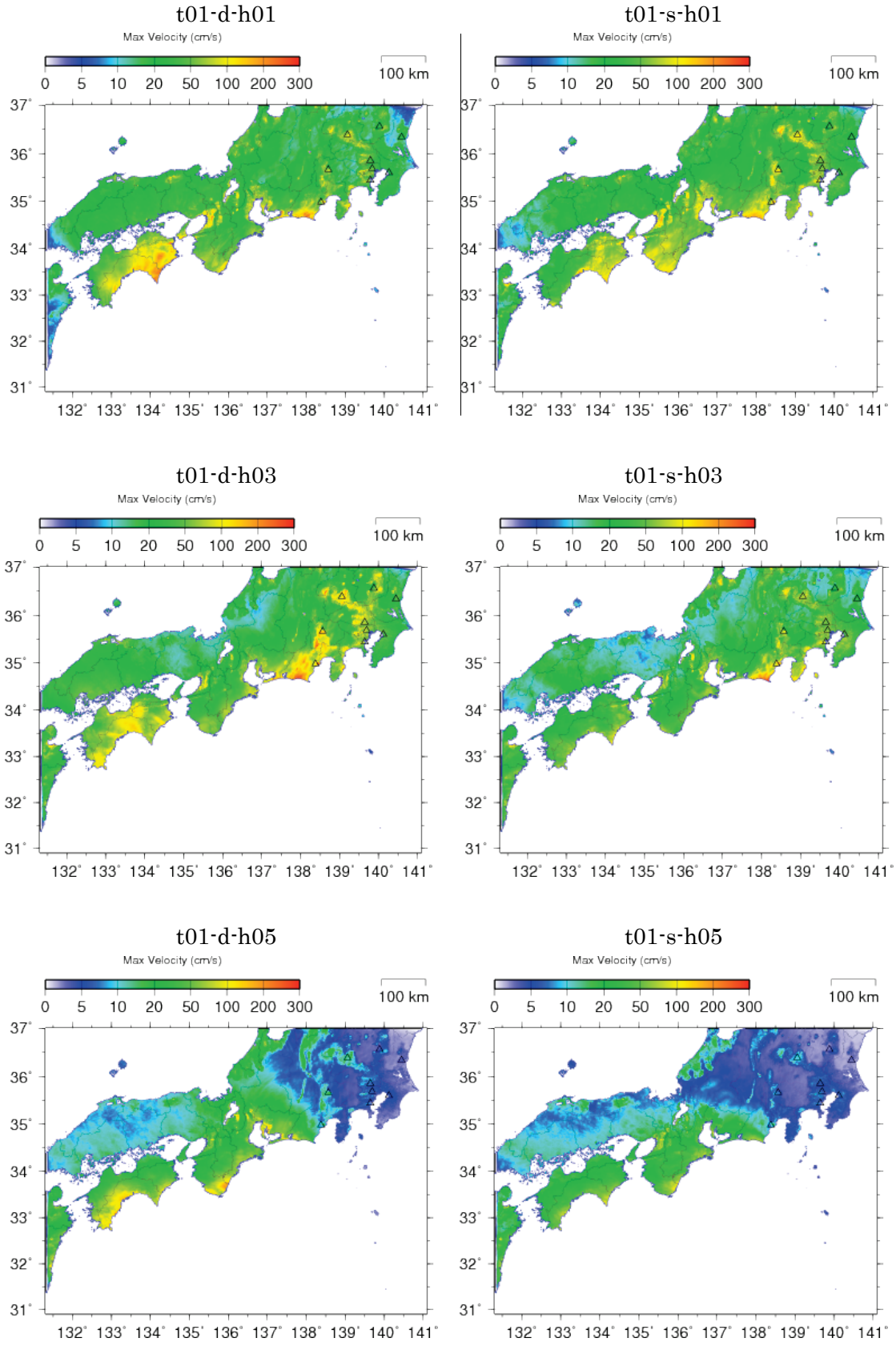


図 3.3-4　工学的基盤上の最大速度分布（震源域 AO010）。

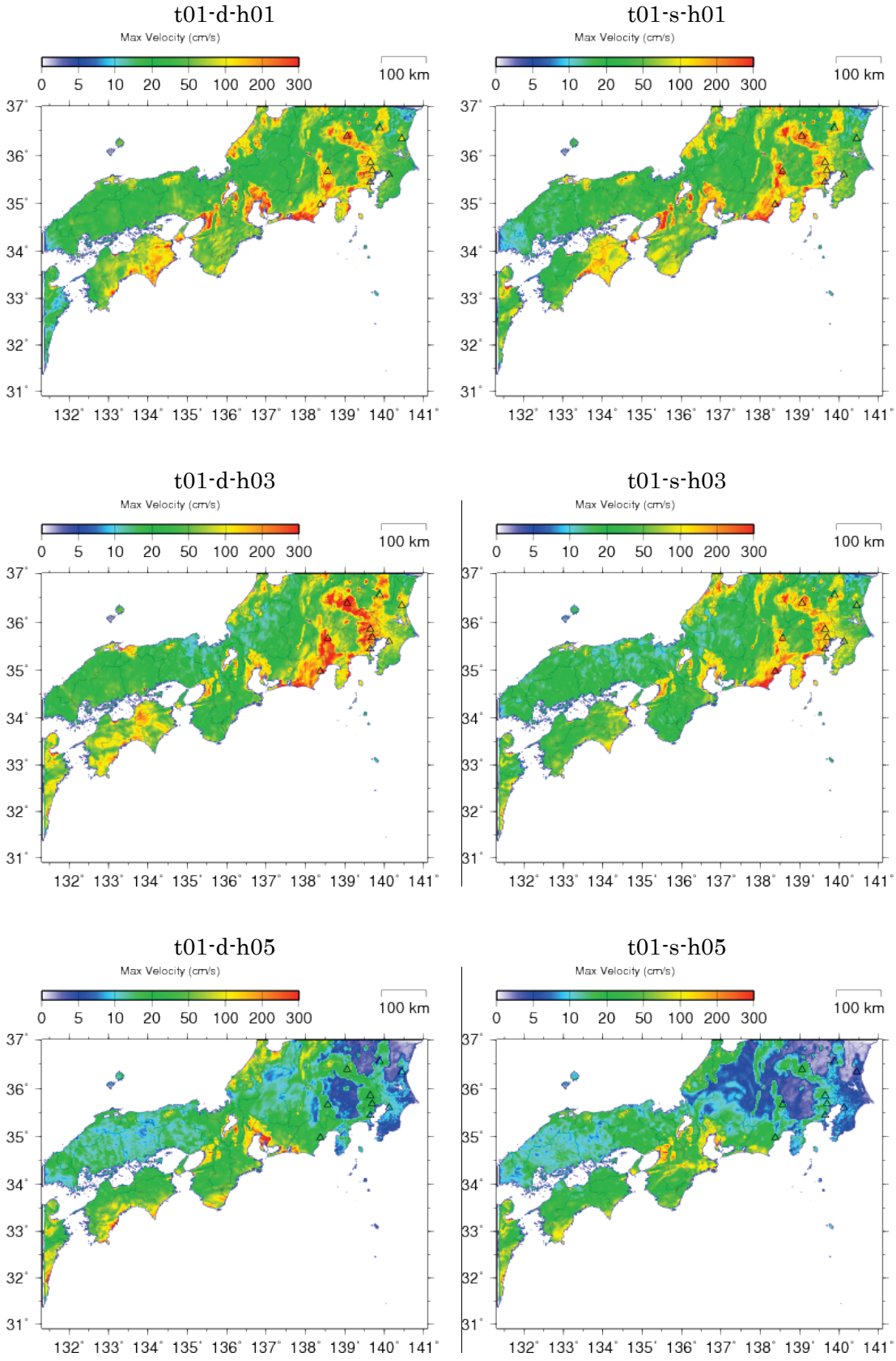


図 3.3-5(1)　相対速度応答スペクトル分布（減衰定数 5%、周期 2 秒、震源域 AO010）。

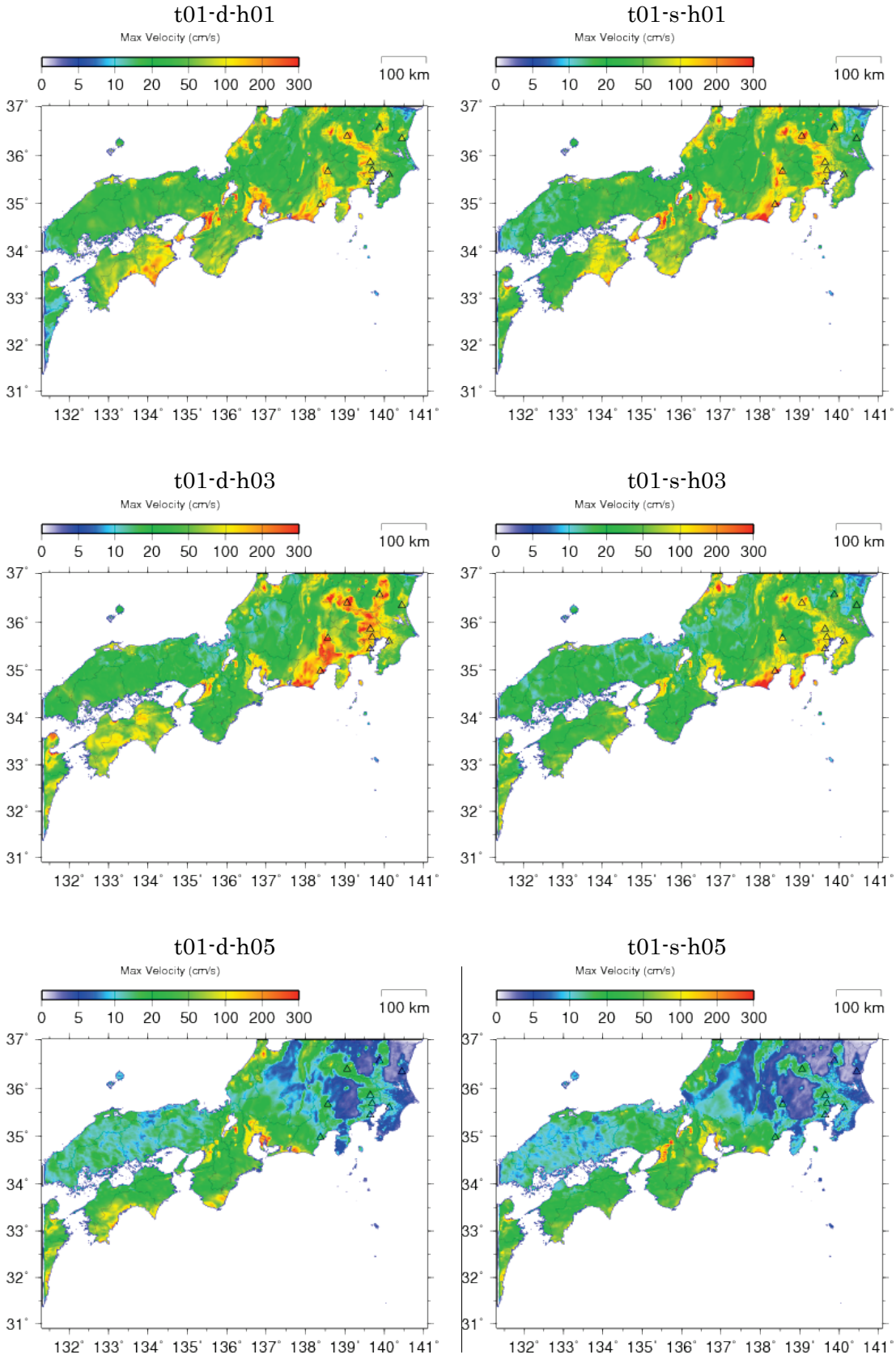


図 3.3-5(2)　相対速度応答スペクトル分布（減衰定数 5%、周期 3 秒、震源域 AO010）。

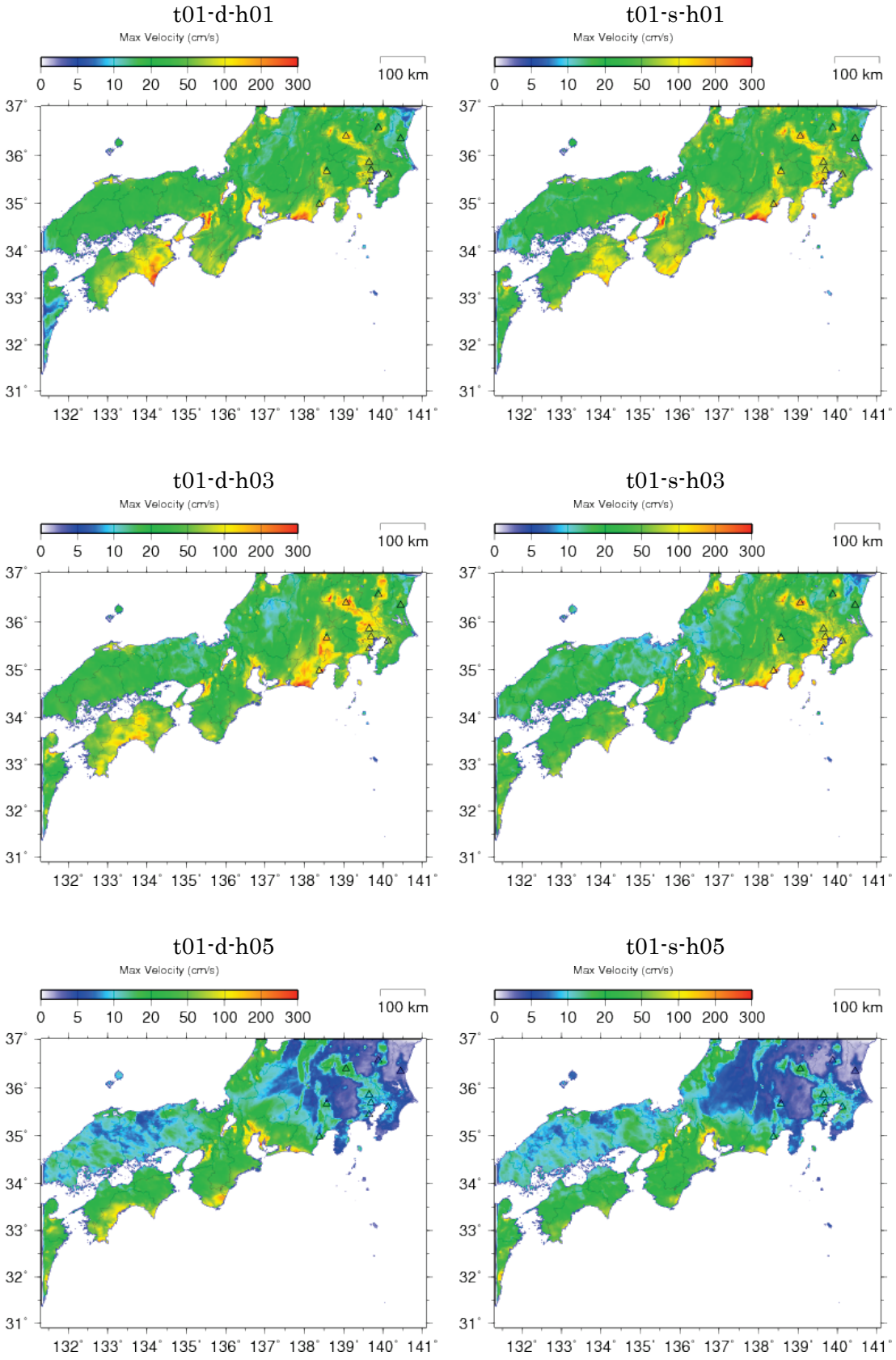


図 3.3-5(3)　相対速度応答スペクトル分布（減衰定数 5%、周期 5 秒、震源域 AO010）。

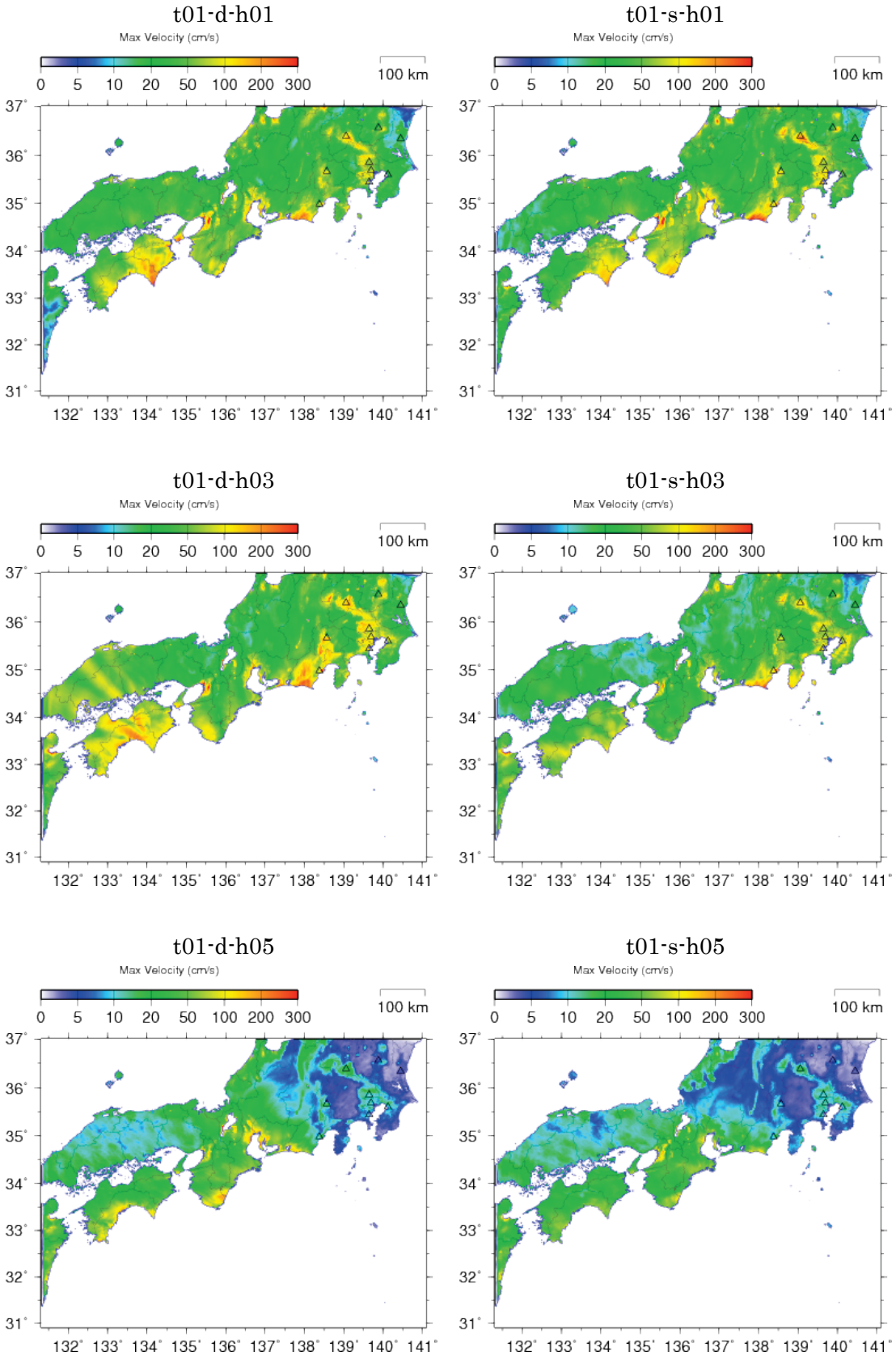


図 3.3-5(4)　相対速度応答スペクトル分布（減衰定数 5%、周期 7 秒、震源域 AO010）。

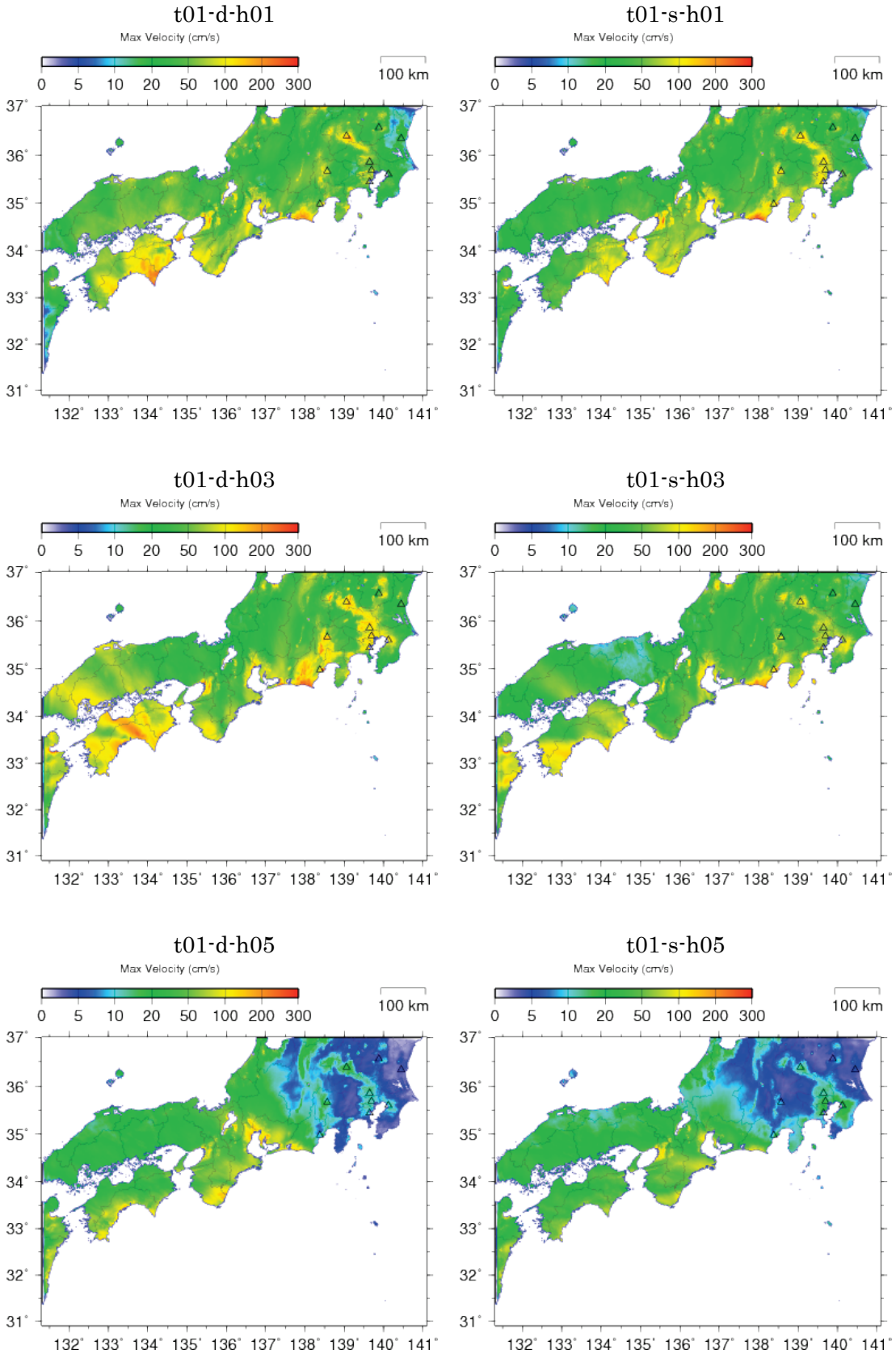


図 3.3-5(5)　相対速度応答スペクトル分布（減衰定数 5%、周期 10 秒、震源域 AO010）。

(c) 結論ならびに今後の課題

南海トラフの地震を対象とした、破壊伝播速度、すべり量、すべり角の不均質性を付与した震源モデルおよび部分的に改良された全国1次地下構造モデル（暫定版）を用いて三次元有限差分法による長周期地震動シミュレーションを行った。このとき、周期2～20秒の長周期地震動ハザードマップの作成に資するため、1.5秒以上の周期を対象とした。一方で東海地域および関東地方では、Vs=350m/s層まで地下構造をモデル化している結果、1ケースあたりの計算量が膨大になってきていることが課題となりつつある。

これまでに実施されてきた検討と同様に、破壊の進行方向において地震動振幅が大きくなる傾向が顕著に現れている。平成23年東北地方太平洋沖地震を受けて改訂された南海トラフの地震の長期評価において、従来の固有地震モデルから多様性が考慮されるようになった。このことは、震源域の広がりだけでなく、強震動生成域や破壊開始点位置の多様性（あるいは不確実性）も考慮する必要があることにもなる。今回の検討においては、少なくともAF010およびAF110以外の4通りの震源域に関しては、現状の不確実性を考慮するにはケース数が不十分である点には留意が必要である。

本検討で用いた東海地域の浅部地盤モデルは、既往のボーリングや微動データに基づいて東海地域の浅部・深部統合地盤モデル構築に向けて作成された「初期モデル」であるが、長周期地震動においても、周期が短い2-3秒に対しては大きな河川沿いのごく一部の地域に限定されるものの浅部地盤による影響を受けることが分かった。このことは、周期2-3秒を含む長周期地震動ハザード評価を従来の工学的基盤上でなく地表で行う場合には、詳細な浅部地盤モデルの構築も必要となる。なお、本検討で用いた東海地域の浅部地盤モデルについては、追加された微動観測データ等を用いて、関東地方と同様の手法によるモデル改良の検討が進められていること、本検討で考慮していない浅部地盤による非線形応答の影響が周期2秒の地震動には生じる可能性があることに留意が必要である。

(d) 引用文献

Aoi, S. and H. Fujiwara (1999): 3D Finite-Difference Method using discontinuous grids, Bulletin of the Seismological Society of America, 89, 918-930.

青井真・早川俊彦・藤原広行 (2004) : 地震動シミュレータ : GMS, 物理探査, 57, 651-666.

福島美光・翠川三郎（1994）: 周波数依存性を考慮した表層地盤の平均 Q-1 値とそれに基づく地盤増幅率の評価,日本建築学会構造系論文集，406，37-40.

紺野 克昭・大町 達夫（1995）: 常時微動の水平/上下スペクトル比を用いる増幅倍率の推定に適した平滑化とその適用例，土木学会論文集，525，247-259.

文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所（2017）: 平成 28 年度長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業　成果報告書.

山中浩明・大堀道広・翠川三郎（2010）: 地震記録に基づく地盤増幅特性の逆解析による関東平野のシームレス S 波速度構造モデルの推定

3.4. 長周期地震動ハザード評価結果活用の検討等

(1) 事業の内容

(a) 事業の題目

東海地域における長周期地震動ハザードマップの作成

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	研究部門長	藤原　広行
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	主任研究員	森川　信之
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	主任研究員	前田　宜浩
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	契約研究員	岩城　麻子
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	主任研究員	河合　伸一
国立研究開発法人　防災科学技術研究所	契約研究員	東　宏樹

(c) 事業の目的

長周期地震動ハザード評価の結果等について、社会の防災・減災、住民の理解を促すための見せ方や公開方法について提案する。濃尾平野における南海トラフ巨大地震の長周期地震動ハザードマップを作成し、利活用促進のための公開システムを検討する。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

長周期地震動ハザード評価結果の利活用を促す情報提供の方法やあり方に関して、建築・土木・社会防災を専門とする有識者から意見を集約した。成果の利用対象者（一般市民、行政庁防災担当者、土木・構造設計者）それぞれに適する情報提供方法を検討した。検討結果および集約した意見を踏まえ、長周期地震動ハザード情報を社会の防災・減災、活用し、住民の理解を促すための見せ方や公開方法について提案を行うとともに、サブテーマ（３）および平成29年度事業の計算結果を用いて長周期地震動ハザードマップを作成した。これまでの「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」で試作・改良してきた地震ハザードステーション（J-SHIS）を参考にした情報提供システム上で公開できるよう、平成29年度の計算結果や計算のもととなるデータも含めて登録した。

(b) 事業の成果

1) 長周期地震動ハザード評価結果の情報提供に関する意見の集約

建築・土木、社会防災の専門家を含む有識者（表 3.4-1）より、地震本部によるこれまでの長周期地震動予測地図や長周期地震動評価、および長周期地震動予測地図作成等支援事業等で進めてきた検討内容についての概要を説明した後、今後の長周期地震動評価結果の提供の仕方について意見を集約した。主な意見を以下にまとめる。

・専門家でも非専門家でも代表地点だけでなく任意の特定地点の情報を必要とする。むしろ、そういう見方をしてしまう。

・長周期地震動に関しては、巨大タンクなどでは必ずしも減衰定数 5%の応答スペクトル

でなく、もっと低減衰の情報を必要とする場合もある。そのような情報そのものが提供されることが望ましいが、元の波形データだけでも提供されれば活用できる。

・多様性や不確実性を考慮するのは必要だが、「起こりやすさ」と合わせての情報提示がなければ最大のものしか注目されなくなってしまう。それには地震本部が地震動予測地図で行っている確率論的な評価も有効で、「平均」や「平均＋σ」の出し方も有用であるが、ハザードカーブでの表現もありえる。

・南海トラフの地震による長周期地震動の情報は、東海地域だけでなく少なくとも 3 大都市圏（東京：関東、大阪：近畿）で必要とされ、影響を受ける可能性のある地域としては新潟、酒田まで含まれる。地下構造モデルの整備状況により周期 2 秒までの評価が困難であれば、周期 3 秒以上や 5 秒以上に限定してもこれらの地域も含めた情報提供が必要なのではないか。

・使う側の立場での出し方の検討も必要ではないか。単に「平均」や「平均＋σ」を公表するのではなくその意味付け（例えば○年に 1 度の頻度に相当)、どれくらいの地震動強さでどのような被害が生じ得るのか、といった説明と合わせればより活用されるのではないか。

・現在公開しているものについて、どのデータに対してアクセスやダウンロードが多いかといった情報収集はされているのか？そのような情報も更なる活用のための分析に活かせるのではないか。

表 3.4-1　有識者名簿

氏名（敬称略）	所属
阿知波　正道	SOMPO リスクマネジメント　コーポレート・リスクコンサルティング部
植竹　富一	東京電力ホールディングス　経営技術戦略研究所
金子　美香	清水建設　コーポレート企画室
座間　信作	横浜国立大学　リスク共生社会創造センター
畑山　健	消防大学校消防研究センター　技術研究部施設等災害研究室
林　孝幸	東京海上日動リスクコンサルティング　企業財産本部
久田　嘉章	工学院大学　建築学科

2)　東海地域を対象とした長周期地震動ハザードマップの作成

長周期地震動ハザードマップとして、それぞれの震源域で計算された複数ケースの計算結果について、各計算地点で対数平均ならびに対数標準偏差（σ）を求め、その平均値あるいは分布を作成した。対象とする震源域は、本年度計算を行った 6 通りの震源域（3.1 および 3.3 節参照）に加えて平成 29 年度の「長周期地震動ハザードマップ作成のための基礎調査・モデル作成等」で検討された 5 通りの震源域の計 11 通りとした。

対象地域は、静岡県、山梨県、愛知県、三重県、長野県南部、岐阜県南部をおおむね包含する範囲とし、最大速度（周期 2～20 秒）、減衰定数 5%の相対速度応答スペクトル（周期 2 秒、3 秒、5 秒、7 秒および 10 秒）の 6 種類で、それぞれについて平均値（Ave.）と平均値＋標準偏差（+1σ）とした。作成したマップ（AO110 を除く）を図 3.1-1～3.1-6 に示す。なお、それぞれのマップは約 2km 四方のメッシュで作成している。

平成 29 年度の震源域は「南海」と「東海」が別々に破壊する地震のため、本年度に地震動シミュレーションを実施した地震よりも規模が小さいため。相対的に地震動は小さい傾向がみられる。特に「南海」のみを震源とする地震は東海地域からやや震源が離れることもある。

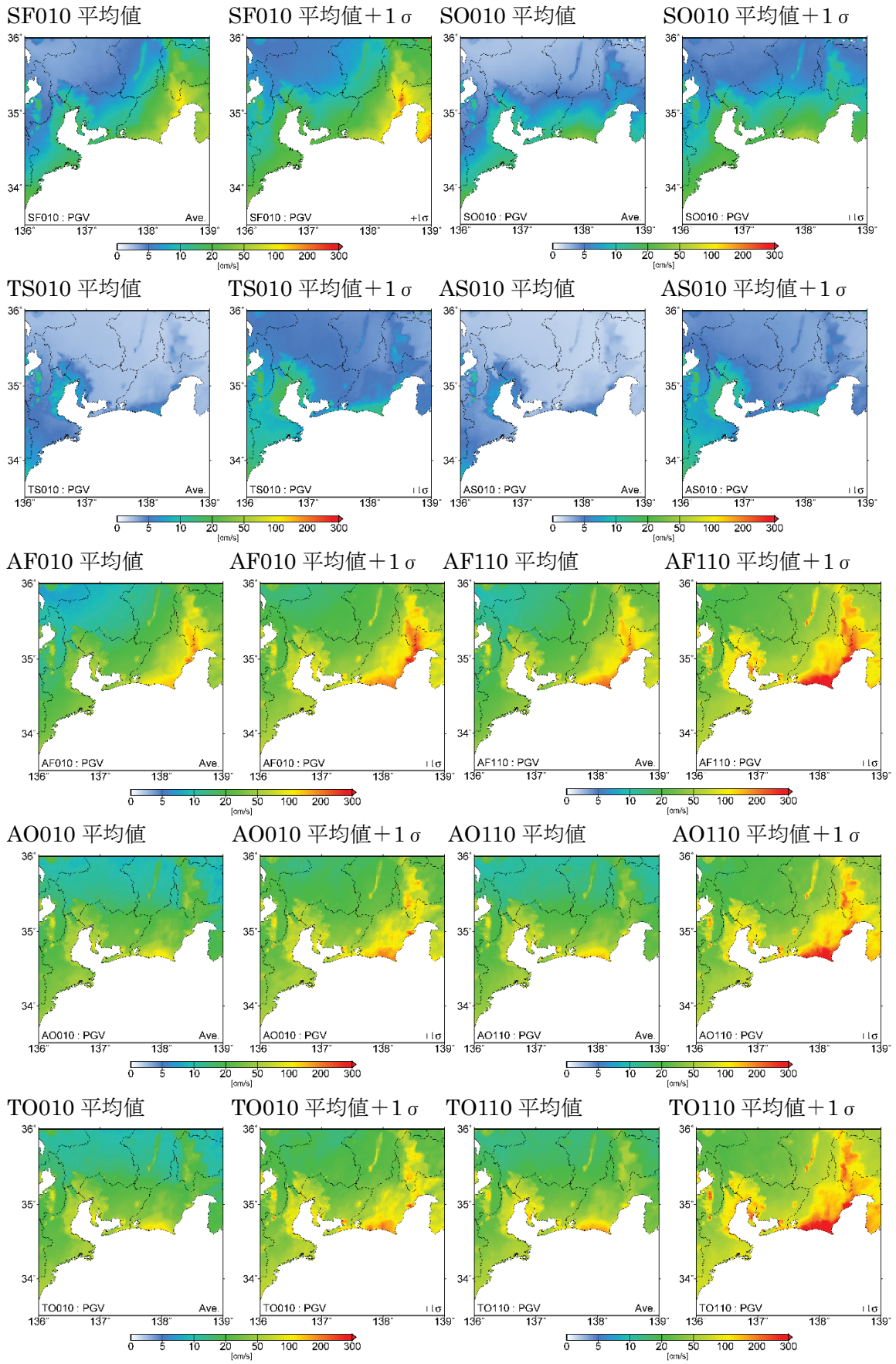


図 3.4-1　東海地域を対象として作成した南海トラフの地震の長周期地震動ハザードマップ（最大速度分布）

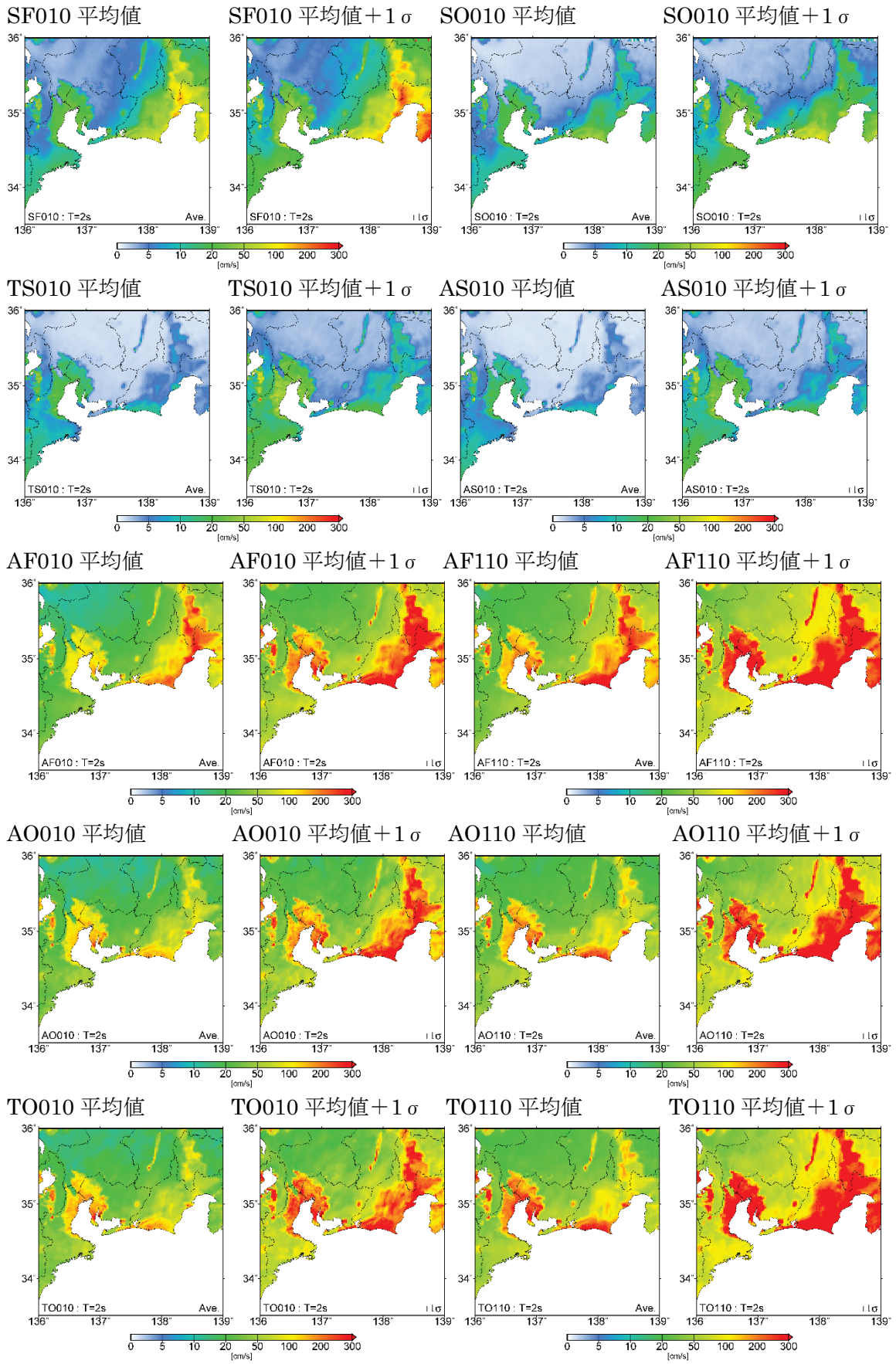


図 3.4-2　東海地域を対象として作成した南海トラフの地震の長周期地震動ハザードマップ（減衰定数 5%の相対速度応答スペクトル；周期 2 秒）。

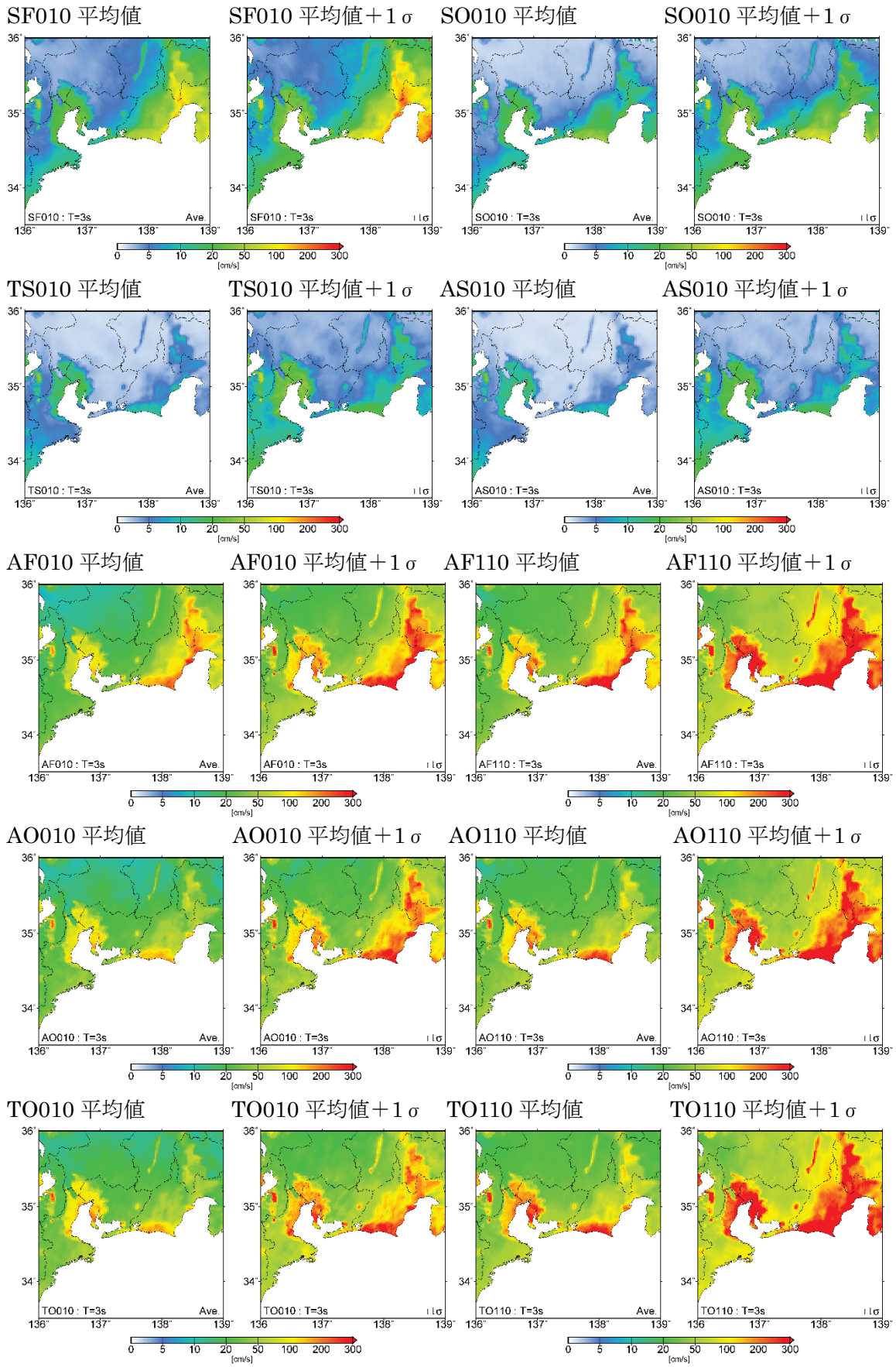


図 3.4-3　東海地域を対象として作成した南海トラフの地震の長周期地震動ハザードマップ（減衰定数 5%の相対速度応答スペクトル；周期 3 秒）。

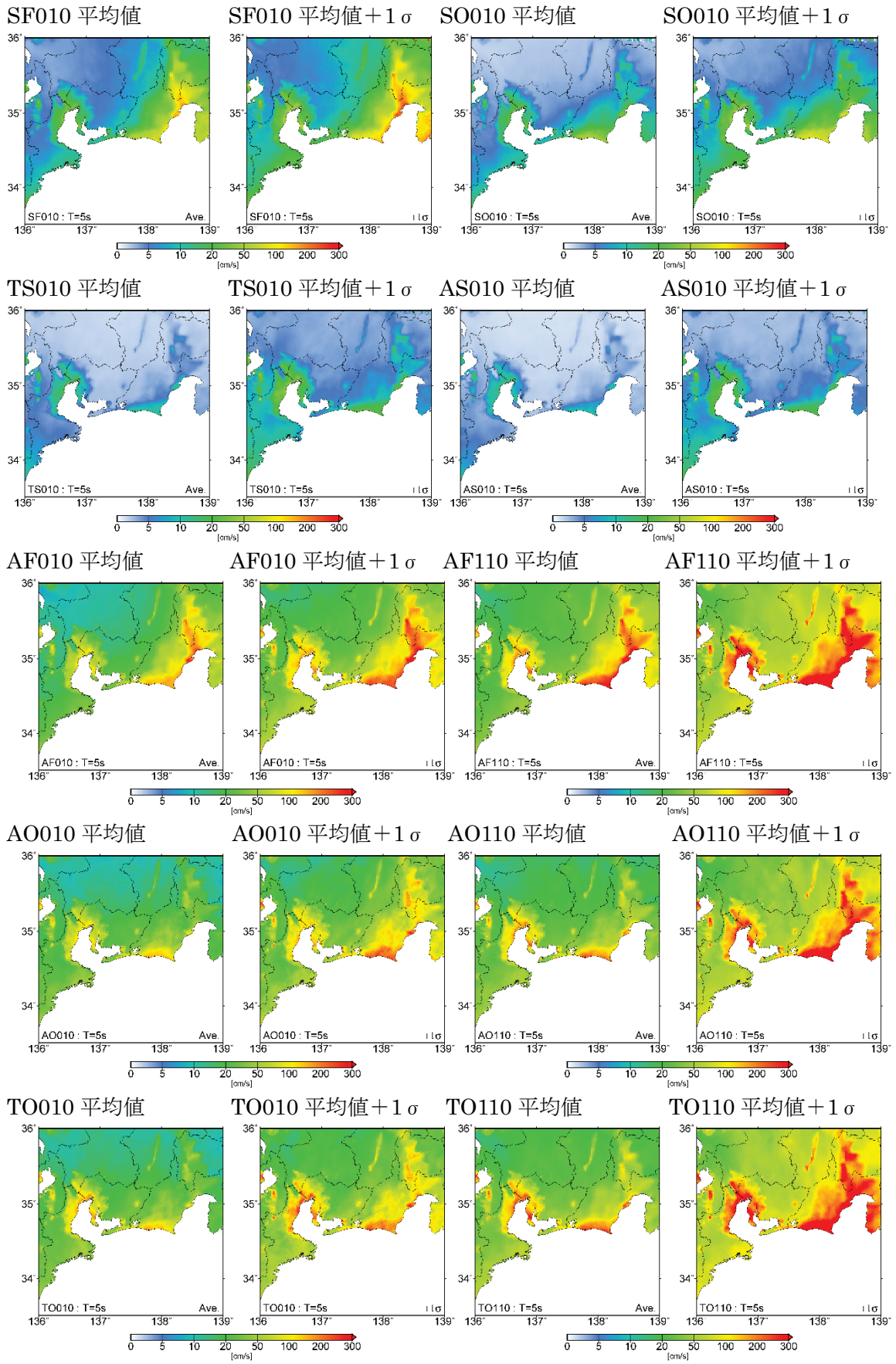


図 3.4-4　東海地域を対象として作成した南海トラフの地震の長周期地震動ハザードマップ（減衰定数 5%の相対速度応答スペクトル；周期 5 秒）。

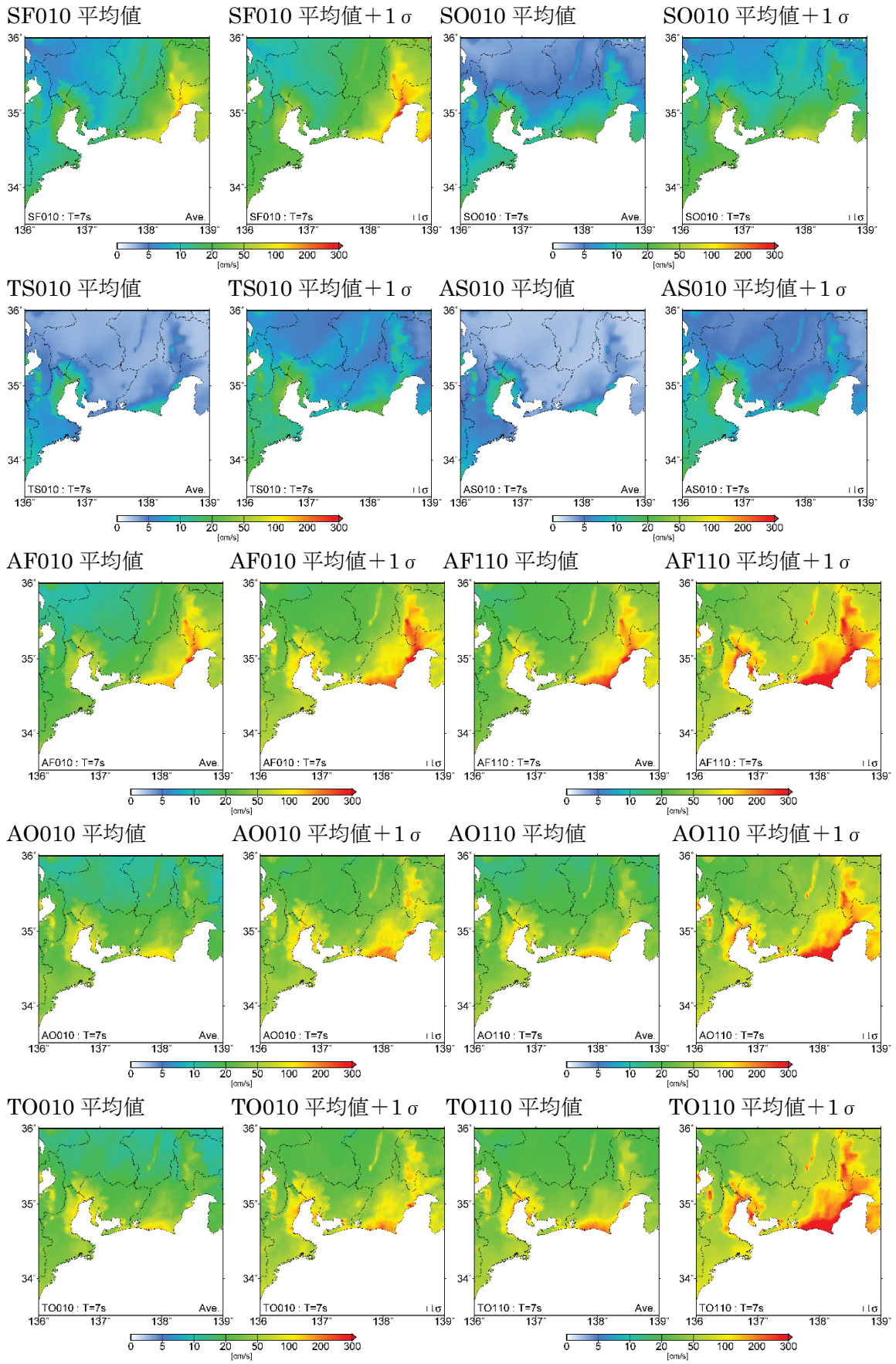


図 3.4-5　東海地域を対象として作成した南海トラフの地震の長周期地震動ハザードマップ（減衰定数 5%の相対速度応答スペクトル；周期 7 秒）。

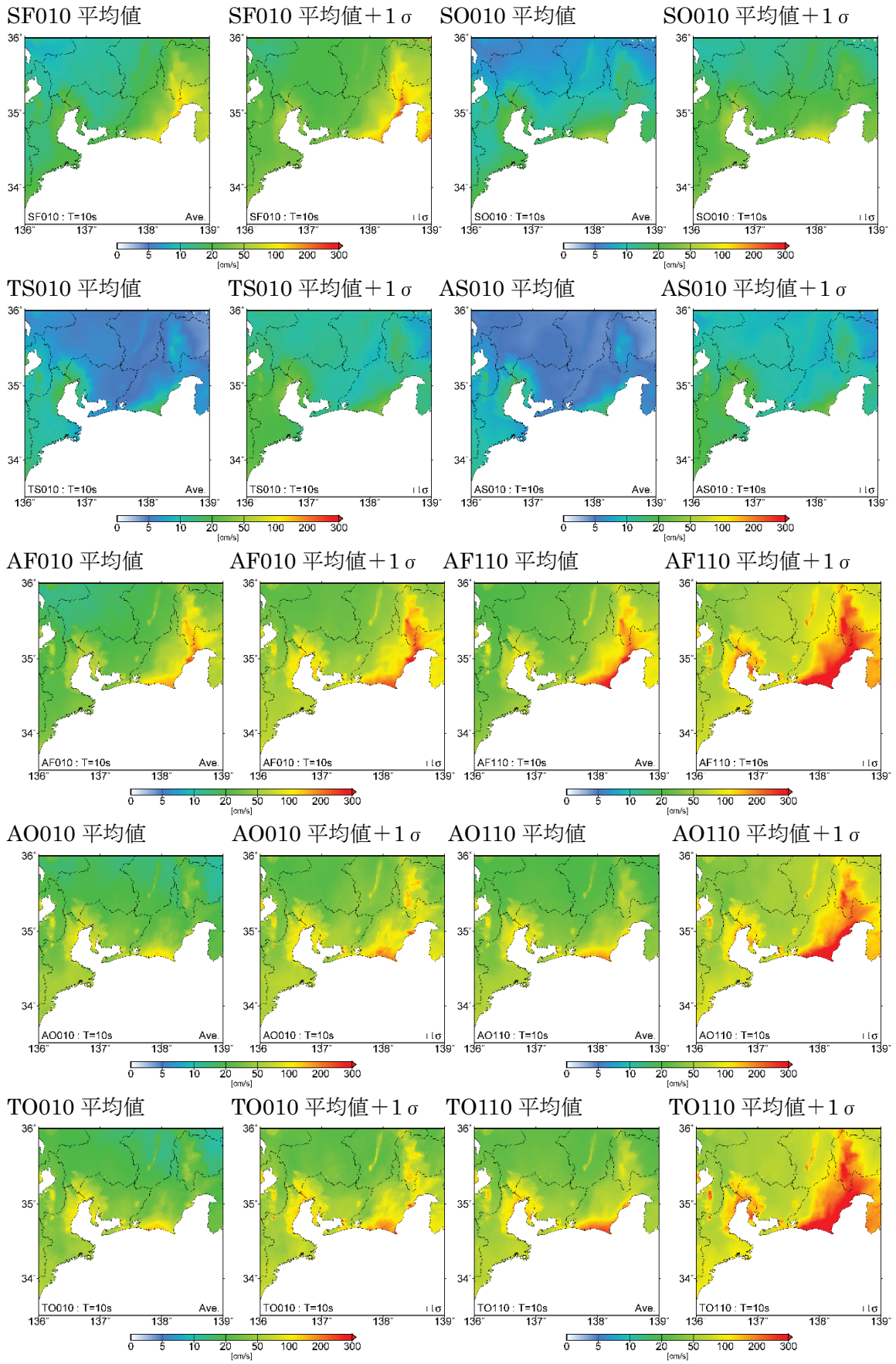


図 3.4-6　東海地域を対象として作成した南海トラフの地震の長周期地震動ハザードマップ（減衰定数 5%の相対速度応答スペクトル；周期 10 秒）。

3) 長周期地震動ハザード情報を提供するウェブの改良

（1）長周期地震動ハザード情報ウェブシステムへのデータ追加

1）において、震源域ごとの「平均」、「平均＋σ」の地震動だけでなく、個々のシナリオによる結果、ならびに、地震本部のウェブページから公表されている代表地点（長周期地震動評価 2016 年試作版においては都県庁位置を含む 16 地点）だけでなく、任意の地点における長周期地震動（ハザード）評価結果も公表してもらいたいとの要望が多くあった。そこで、平成 29 年度までの検討において試作してきた防災科学技術研究所の地震ハザードステーション（J-SHIS）を参考にしたウェブシステムに、平成 29 年度に長周期地震動シミュレーションを行った 112 のシナリオについて、震源域、アスペリティ、破壊開始点位置の震源データ（図 3.4-7）、ならびに平成 29 年度に登録を行った相模トラフ地震と同様の地震動に関する指標

・擬似速度応答（周期 2～10 秒、1 秒刻み、減衰定数 5%）
・相対速度応答（同上）
・地震動速度時刻歴継続時間
・長周期地震動階級

について、約 2km メッシュごとにデータ登録を行った。登録したデータについては、ウェブシステム試作版上でデータを閲覧、ダウンロードできるようにした。マップでの表示例を図 3.4-8 および図 3.4-9 に示す。

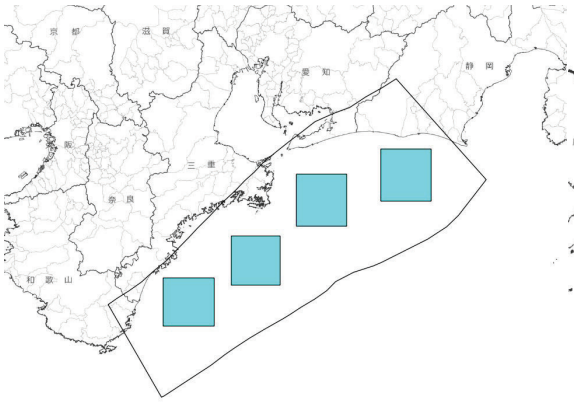
また、超高層建物の被害に関連する指標についてのデータ登録試行として、地震動シミュレーション結果から得られた地震動強さから推定した最大層間変形角の情報を作成した（図 3.4-10 および図 3.4-11）。具体的には、平成 25 年度長周期地震動予測地図作成等支援事業での検討で作成された周期 2～8 秒の相対速度応答（減衰定数 5%）の値と最大層間変形角の経験的関係式（フラジリティ曲線）を用いて推定した。

（2）長周期地震動カルテへの情報追加

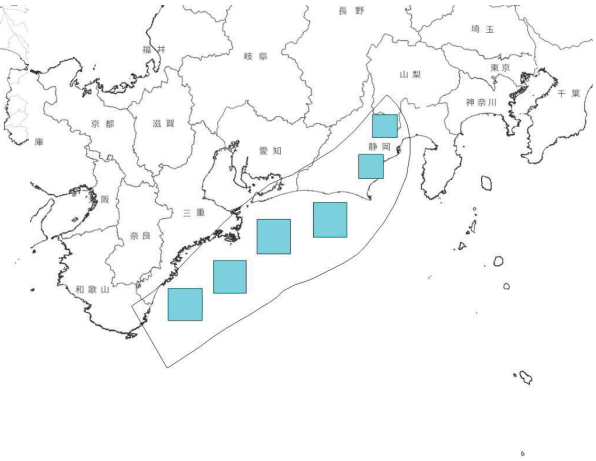
J-SHIS では、各メッシュ（1/4 地域メッシュ）において確率論的地震動予測地図の情報を 1 枚に集約した「地震ハザードカルテ」が提供されている。平成 29 年度事業において、長周期地震動評価結果について同様に 1 枚に情報を集約した「カルテ」を試作した。ここでは、（1）で登録した南海トラフ地震に対応するとともに、「平均」あるいは「平均+σ」の地震動に対して、超高層建物の被害に関連する最大層間変形角の情報（図 3.4-10 の⑨）を追加する改良を行った。最大相関変形角の計算には、周期 2～8 秒の相対速度応答（減衰定数 5%）の平均値または平均＋σより、（1）と同じフラジリティ曲線を用い、北村・他（2006）の耐震性能判断基準地表（表 3.4-2）に従いランク分けを行った。

レーダーチャート（図 3.4-10 の③）におけるランク分けについて、表 3.4-3 とした。ただし、長周期地震動階級および最大層間変形角以外の指標については、必ずしも被害や揺れの体感と直結するものとはなっていないランク分けとはなっていない。

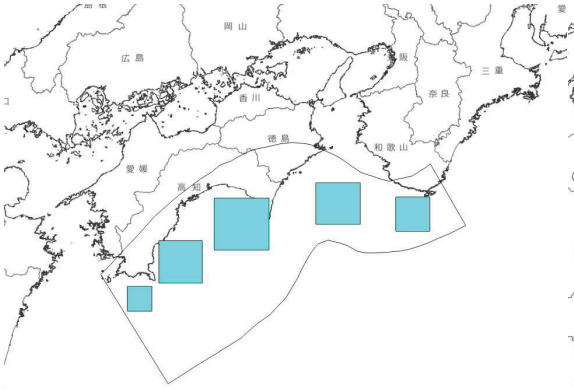
SO010



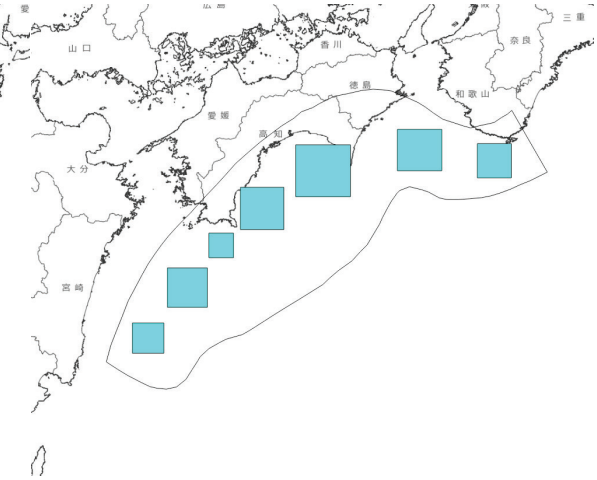
SF010



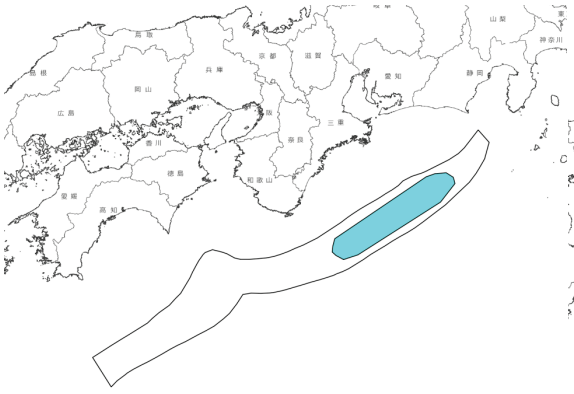
AS010



TS010



AO100



破壊開始点位置

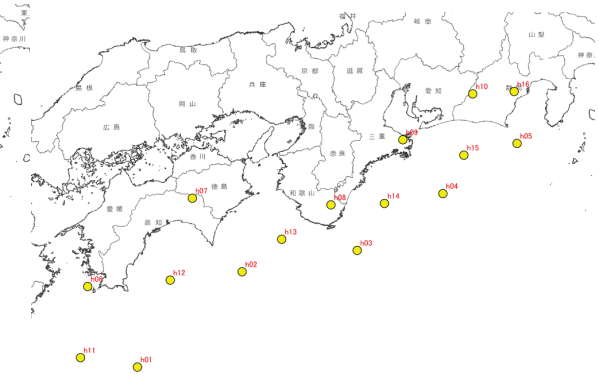


図 3.4-7　データ登録を行った南海トラフ地震の震源域、アスペリティおよび破壊開始点位置。ただし、アスペリティ位置については例。

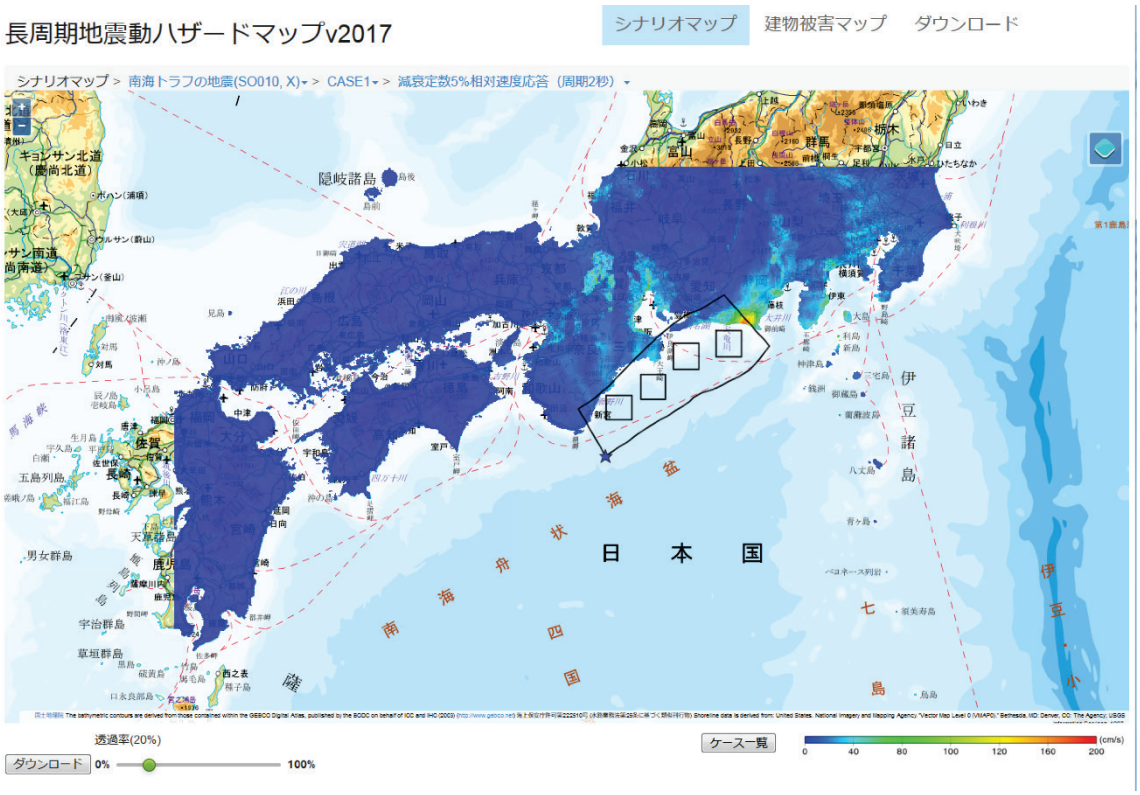


図 3.4-8　データ登録を行った南海トラフの地震の「シナリオマップ」の表示例。

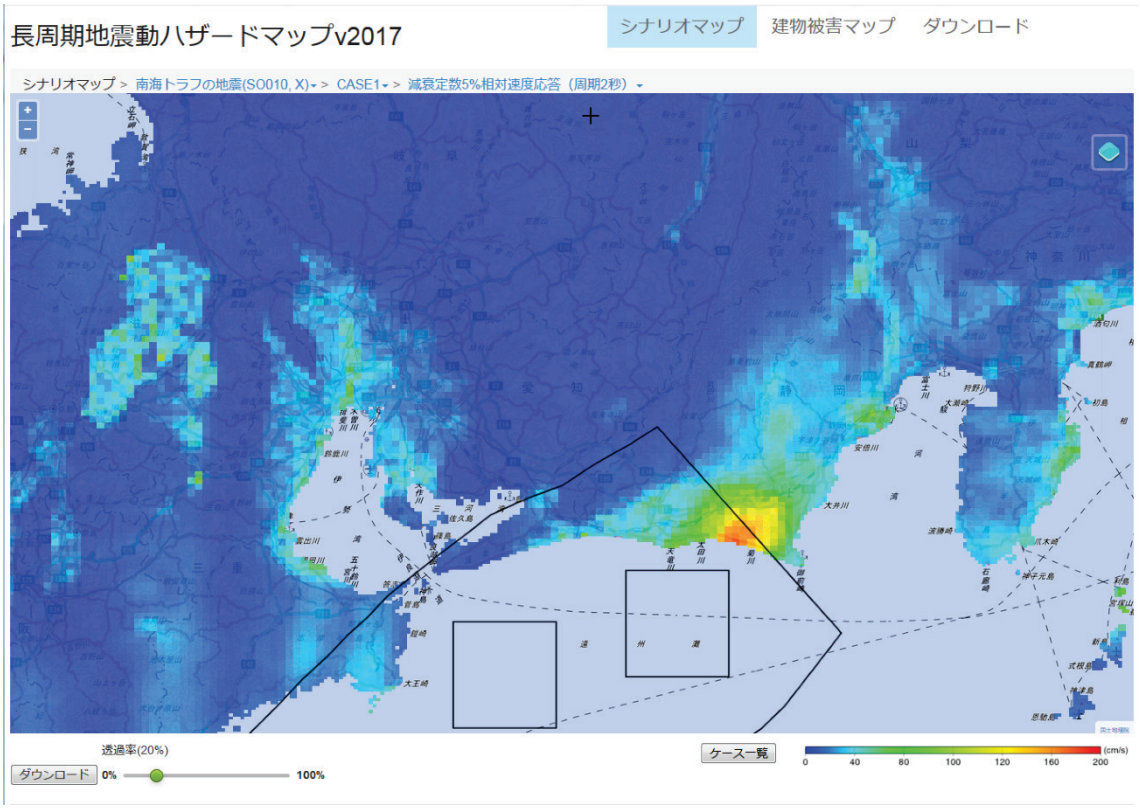


図 3.4-8　データ登録を行った南海トラフの地震の「シナリオマップ」の表示例（東海地域拡大）。

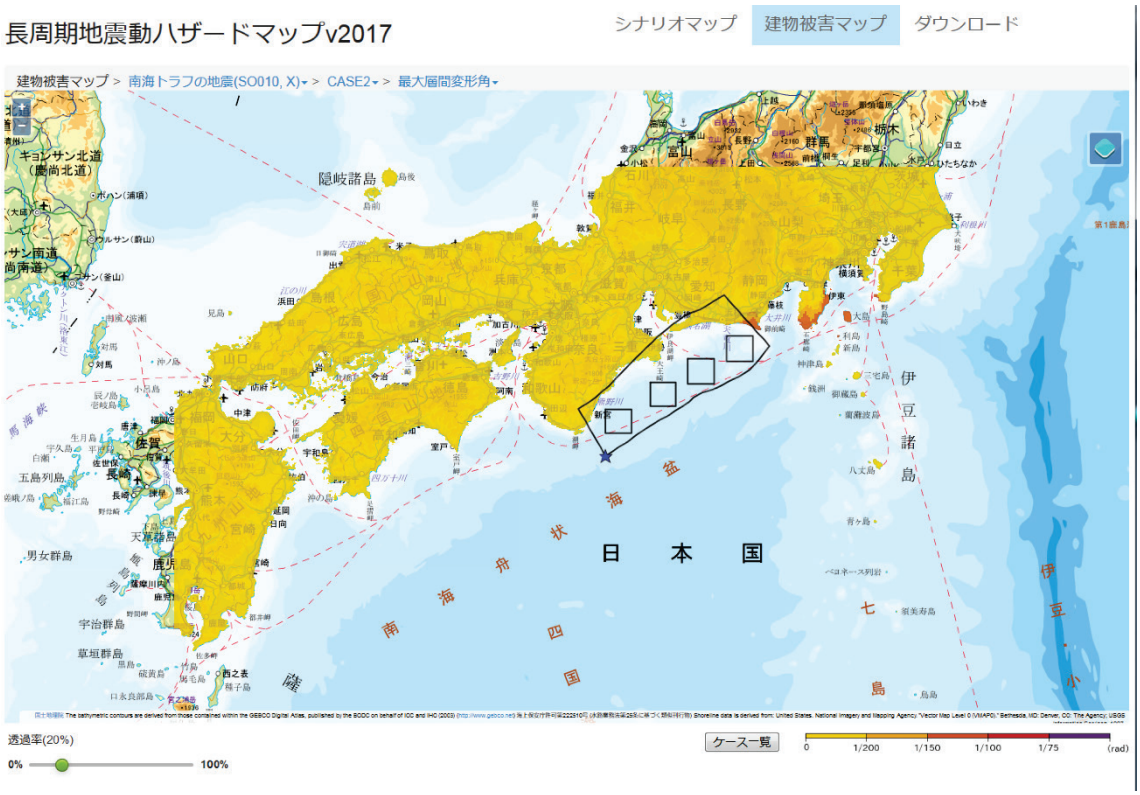


図 3.4-10　データ登録を行った南海トラフの地震の最大層間変形角分布の表示例。

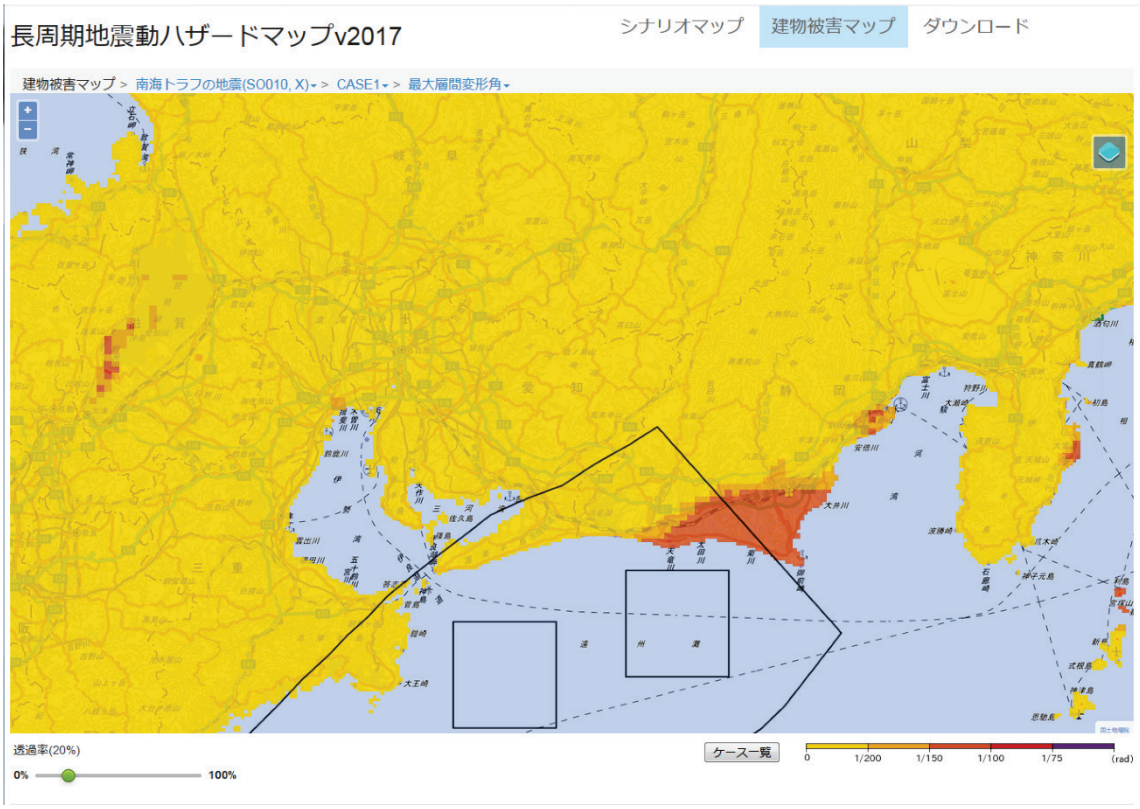


図 3.4-11　データ登録を行った南海トラフの地震の最大層間変形角分布の表示例（東海地域拡大）。

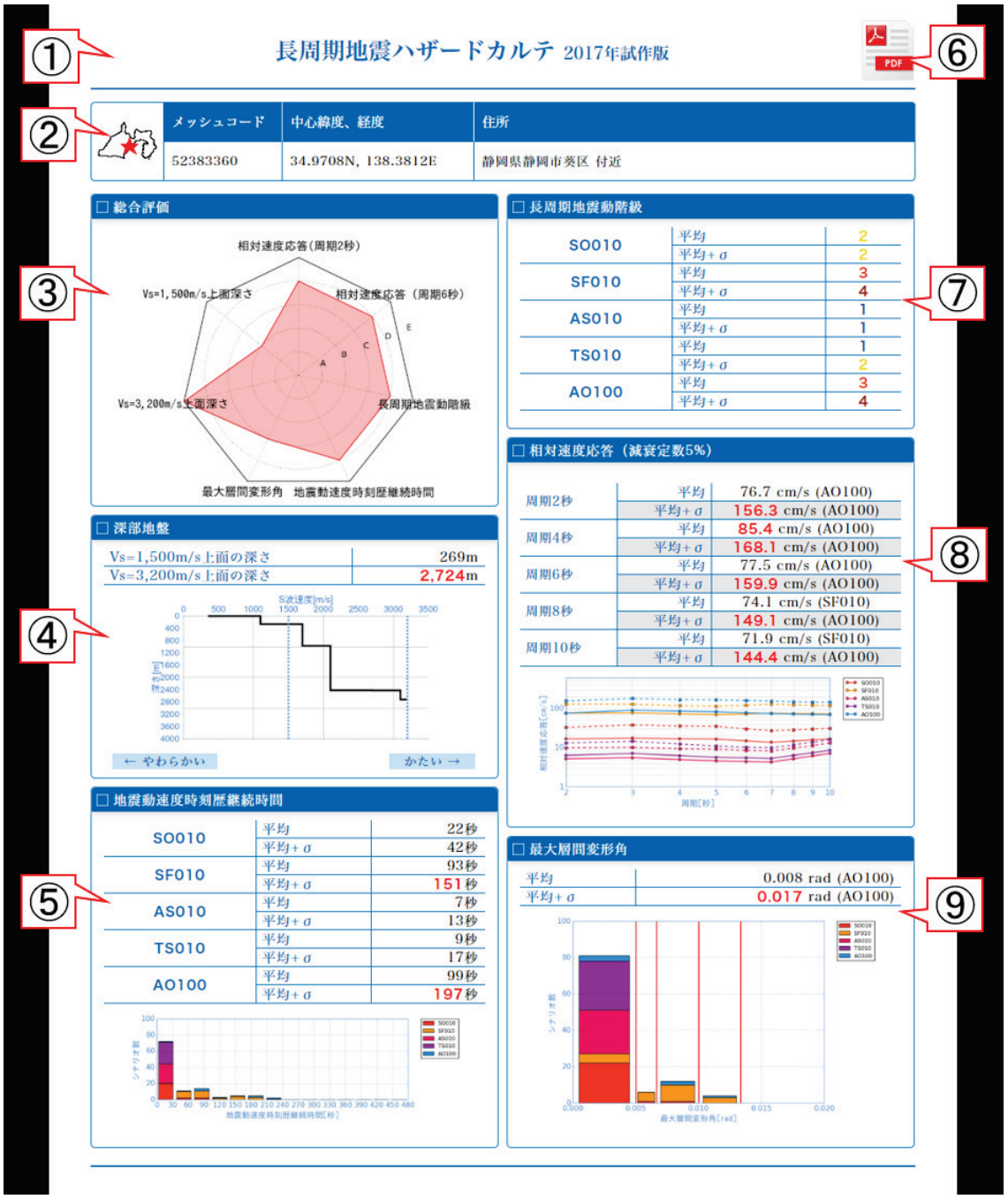


図 3.4-10　長周期地震動カルテの試作。①～⑨は表 3.4-2 の No.と対応。

表 3.4-2　長周期地震動カルテの表示内容。No.の①～⑨は図 3.4-10 を参照。

No.	カルテ項目	概要
①	ヘッダー	対象となる長周期地震動評価をタイトルとして表示
②	評価地点情報	評価地点の位置画像、世界測地系 3 次メッシュコード、3 次メッシュの中心の緯度経度および住所を表示
③	総合評価	評価地点における長周期地震動ハザードの総合評価結果をレーダーチャートで表示
④	深部地盤	評価地点における長周期地震動評価に用いた深部地盤構造モデルに関する情報を表示
⑤	地震動速度時刻歴継続時間	評価地点における長周期地震動の継続時間を地震タイプごとに「平均」、「平均＋σ」それぞれで表示
⑥	PDF 表示ボタン	
⑦	長周期地震動階級	評価地点における長周期地震動階級を地震タイプごとに「平均」、「平均＋σ」それぞれで表示
⑧	相対速度応答（減衰定数 5%）	評価地点における相対速度応答(減衰定数 5%)を地震タイプごとに「平均」、「平均＋σ」それぞれで表示
⑨	最大層間変形角	評価地点における最大層間変形角の推定値を地震タイプごとに「平均」、「平均＋σ」それぞれで表示

表 3.4-3　北村・他（2004）に基づく耐震性能判断基準値表。

	性能評価項目		損傷限界	安全限界 余裕度Ⅰ	安全限界 余裕度Ⅱ	安全限界	安全限界 超過
	判定値 λ		4	3	2	1	0
建物機能	機能		機能維持	主要機能確保	指定機能確保	限定機能確保	機能確保困難
	層間変形角 R (rad)		1/200 以下	1/200-1/150	1/150-1/100	1/100-1/75	1/75 以上
	床加速度 a (cm/s^2)		―	250 以下	250-500	500-1000	1000 以上
構造部材	部材損傷度		無損傷	軽微	小損	中損～大損	大損以上
	部材塑性率 μ_m		1.0 以下	1.0-2.5	2.5-3.75	3.75-5.0	5.0 以上
	累積塑性変形倍率 η_m	JASS6 型	0	0-5.4	5.4-12.0	12.0-21.5	21.5 以上
		ﾉﾝｽｶﾗｯﾌﾟ	0	0-9.0	9.0-20.5	20.5-36.5	36.5 以上
		梁端混用	0	0-3.5	3.5-7.5	7.5-13.5	13.5 以上

表 3.4-4　長周期地震動カルテにおける総合評価のランク分け。

No.	項目名	ランク分け
1	相対速度応答（周期 2 秒）	A: 20cm/s 未満 B: 20cm/s 以上 40cm/s 未満 C: 40cm/s 以上 60cm/s 未満 D: 60cm/s 以上 80cm/s 未満 E: 80cm/s 以上
2	相対速度応答（周期 6 秒）	A: 20cm/s 未満 B: 20cm/s 以上 40cm/s 未満 C: 40cm/s 以上 60cm/s 未満 D: 60cm/s 以上 80cm/s 未満 E: 80cm/s 以上
3	長周期地震動階級	A: 階級 0 B: 階級 1 C: 階級 2 D: 階級 3 E: 階級 4
4	長周期地震動継続時間 （地震動速度時刻歴継続時間）	A: 20 秒未満 B: 20 秒以上 40 秒未満 C: 40 秒以上 60 秒未満 D: 60 秒以上 80 秒未満 E: 80 秒以上
5	最大層間変形角	A: 1/200 rad 未満 B: 1/200 rad 以上 1/150 rad 未満 C: 1/150 rad 以上 1/100 rad 未満 D: 1/100 rad 以上 1/75 rad 未満 E: 1/75 rad 以上
6	Vs=3,200m/s 層上面深さ	A: 500m 未満 B: 500m 以上 1,000m 未満 C: 1,000m 以上 1,500m 未満 D: 1,500m 以上 2,000m 未満 E: 2,000m 以上
7	Vs=1,500m/s 層上面深さ	A: 250m 未満 B: 250m 以上 500m 未満 C: 500m 以上 750m 未満 D: 750m 以上 1,000m 未満 E: 1,000m 以上

※各指標は「平均」の値を用いている

(c) 結論および今後の課題

社会防災、工学、社会科学の専門家を含む有識者から、長周期地震動評価とそのデータ公開に関する意見を収集した。その結果、多様性の考慮が必要となる南海トラフの地震の長周期地震動ハザード情報については、確率論的な評価の有用性が指摘された。一方で、確率論的な情報の理解には専門知識が必要であり、不確実さが生じる要因を理解し、評価条件の十分な説明や解説人材を育成していく必要性も指摘されている。工学的分野において高度な利活用を進める上では、単なる代表例の提示だけでなく個々のシナリオや地点の情報も活用できる枠組みへの要望が多くなされた。

南海トラフ地震による東海地域の長周期地震動ハザードマップとして、平成 29 年度および本年度に地震動シミュレーションを行った 11 通りの震源域ごとに、不確実さを考慮した多数のケースの「平均」および「平均＋σ」の地震動分布を作成した。一方で、確率論的な評価という観点から、各評価地点でのハザードカーブの作成も今後検討の余地が残されていると言える。

これまでの長周期地震動予測地図作成等支援事業において試作してきた、長周期地震動ハザード情報を提供するウェブシステムに平成 29 年度に実施した地震動シミュレーション結果のデータを登録し、閲覧、データダウンロードできる準備を整えた。長周期地震動カルテに関しては、情報の内容をユーザーからの意見なども踏まえてランク分けの基準を策定していくことも必要である。

(d) 参考文献

北村春幸・宮内洋二・福島順一・深田良雄・森伸之（2004）：性能設計における性能判断基準地に関する研究－時刻歴応答解析に基づく JSCA 耐震性能メニューの検証－，日本建築学会構造系論文集，576，47-54.

文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所（2012）：平成 24 年度長周期地震動予測地図作成等支援事業成果報告書.

文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所（2013）：平成 25 年度長周期地震動予測地図作成と支援事業成果報告書.

文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所（2018）：長周期地震動ハザードマップ作成のための基礎調査・モデル作成等成果報告書.

４．むすび

南海トラフの地震に対する長周期地震動ハザードマップの公表へ向けて、平成 28 年度までの「長周期地震動予測地図作成等支援事業」および平成 29 年度の「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」の検討内容を踏まえ、長周期地震動ハザードマップの作成のための検討を実施し、以下の成果が得られた。

- 南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）で例示されている震源域のうち、「東海」域と「南海」域が同時に活動する地震として示されている 6 通りの震源域を対象として、アスペリティ（強震動生成域）および破壊開始点の不確実さを考慮し、さらに Iwaki et al. (2016) に従ってすべり量、破壊伝播速度、すべり角に関する不均質さを付与した 126 ケースの震源モデルを作成した。
- 平成 23 年東北地方太平洋沖地震を対象として、強震動生成域（川辺・釜江、2013）、背景領域、海溝軸付近の浅い領域における大すべり域（LMGA と SLMGA）からなる特性化震源モデルを構築し、震源パラメータ（破壊伝播速度、すべり量、すべり角）にマルチスケール不均質を付与した。
- 上記により作成された東北地方太平洋沖地震について、周期 2 - 20 秒を対象として三次元差分法による長周期地震動シミュレーションを行い、震源不均質性導入の効果と観測記録の再現性を調べた。不均質モデルは周期 6 - 8 秒程度（0.1 から 0.2 Hz の間）よりも短周期側で均質モデルよりも顕著に振幅が大きくなる。フーリエ振幅スペクトルについて均質モデルに対する不均質モデルの比をとると、周期 2 秒では計算領域内の平均で 2 倍強の振幅になった。周期 10 秒以上では空間的なばらつきは大きいものの、平均としては均質モデルとの比は小さかった。
- 中国地方および四国地方の地方自治体（県）を対象として、5 年間程度以内に実施された地震被害想定で用いられている地下構造モデルに関する情報を収集した。鳥取県、熊本平野において、既往調査結果をもとにした地盤モデルを平成 29 年度に部分改良した全国 1 次地下構造モデル（暫定版）と接合することにより改良を行った。
- 試作した地下構造モデルに関する確認として、差分法による再現計算を行った。南海トラフ域について反射法地震探査データをもとに調整した 2018 年モデルの方が、2016 年および 2017 年モデルに比べ再現性が高いと判断される。また、今回地盤モデルを修正した鳥取県周辺では 2017 年モデルからの改善も見られた。
- 南海トラフの巨大地震を対象とした、破壊伝播速度、すべり量、すべり角の不均質性を付与した震源モデルおよび部分的に改良された全国 1 次地下構造モデル（暫定版）を用いて三次元有限差分法による長周期地震動シミュレーションを行った。このとき、周期 2～20 秒の長周期地震動ハザードマップの作成に資するため、1.5 秒以上の周期を対象とした。
- 社会防災、工学、社会科学の専門家を含む有識者から、長周期地震動評価とそのデータ公開に関する意見を収集した。その結果、多様性の考慮が必要となる南海トラフ地震の長周期地震動ハザード情報については、確率論的な評価の有用性が指摘された。一方で、確率論的な情報の理解には専門知識が必要であり、不確実さが生じる要因を

理解し、評価条件の十分な説明や解説人材を育成していく必要性も指摘されている。工学的分野において高度な利活用を進める上では、単なる代表例の提示だけでなく個々のシナリオや地点の情報も活用できる枠組みへの要望が多くなされた。

・南海トラフ地震による東海地域の長周期地震動ハザードマップとして、平成 29 年度および本年度に地震動シミュレーションを行った 10 通りの震源域ごとに、不確実さを考慮した多数のケースの「平均」および「平均＋σ」の地震動分布を作成した。

・これまでの長周期地震動予測地図作成等支援事業において試作してきた、長周期地震動ハザード情報を提供するウェブシステムに平成 29 年度に実施した地震動シミュレーション結果のデータを登録し、閲覧、データダウンロードできる準備を整えた。

一方で、以下の課題が残されていることも明らかとなった。

・東北地方太平洋沖地震の観測記録の再現性について、均質モデルでは速度波形の主要な波群の到来時刻を再現することはできたが、観測と比べて系統的に振幅が小さかった。不均質モデルでは均質モデルと比べて振幅が大きくなり、周期 2 - 10 秒の観測記録をおおむね再現することができた。ただし、周期 10 – 20 秒の帯域では多くの地点で観測記録よりも過小評価であった。これは、マグニチュード 9 クラスの地震における強震動生成域以外の震源のモデル化が不十分であることによると考えられる。

・地下構造モデルの検証における地震動シミュレーションにおいて、三重県南東沖の地震では観測データをよく説明できていなく、地盤モデルの調整だけでなく、震源モデルの検討も必要であると考えられる。

・新たに取り込んだ深部地盤モデルは南海トラフ地震の震源域から離れた内陸部が主であったため、南海トラフの震源域を対象とした地震に対する地下構造モデルの検証という観点では観測記録が得られていないこともあり十分にできていない。評価対象となる地域の地下構造モデルだけでなく、震源となる海域の地下構造モデルも含めた検証・改良の検討が今後必要である。

・周期 2-3 秒を含む長周期地震動ハザード評価を従来の工学的基盤でなく地表で行う場合には、浅部・深部統合地盤モデルのような詳細な浅部地盤モデルの構築が有効である。ただし、周期 2 秒程度に対しては現在考慮されていない地盤の非線形応答の影響が生じる可能性がある。

・東海地域および関東地域では、Vs=350m/s 層まで地下構造をモデル化している結果、1 ケースあたりの計算量が膨大になってきている。

・これまでに実施されてきた検討と同様に、破壊の進行方向において地震動振幅が大きくなる傾向が顕著に現れている。平成 23 年東北地方太平洋沖地震を受けた南海トラフ地震の長期評価において、従来の固有地震モデルから多様性が考慮されるようになった。このことは、震源域の広がりだけでなく、強震動生成域や破壊開始点位置の多様性（あるいは不確実性）も考慮する必要があることにもなる。今回の検討においては、少なくとも AF010 および AF110 以外の 4 通りの震源域に関しては、現状の不確実性

を考慮するにはケース数が不十分である点には留意が必要である。

・確率論的な長周期地震動評価という観点から、各評価地点でのハザードカーブの作成も今後検討の余地が残されている。

・長周期地震動カルテも含めて、情報の内容をユーザーからの意見なども踏まえてランク分けの基準を策定していくことも必要である。